

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

DIPLOMSKI STUDIJ

URBANO ŠUMARSTVO, ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA

ANDRIJA ČEH

**UTJECAJ UKLANJANJA TLA NA STABILNOST STABALA
HRASTA KITNJAKA (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, RUJAN, 2019.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

**UTJECAJ UKLANJANJA TLA NA STABILNOST STABALA
HRASTA KITNJAKA (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša

Predmet: Rasadnička proizvodnja ukrasnog bilja

Ispitno povjerenstvo:

1. Doc. dr. sc. Vinko Paulić
2. Prof. dr. sc. Milan Oršanić
3. Izv. prof. dr. sc. Damir Ugarković

Student: Andrija Čeh

JMBAG: 0068218418

Broj indeksa: 888/17.

Datum odobrenja teme: 25.4.2019.

Datum predaje rada: 20.9.2019.


Datum obrane rada: 27.9.2019.

Zagreb, rujan 2019.

Dokumentacijska kartica

| | |
|----------------------------|--|
| Naslov | Utjecaj uklanjanja tla na stabilnost stabala hrasta kitnjaka (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.) |
| Title | Influence of soil removal on stability of Sessile Oak (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.) trees |
| Autor | Andrija Čeh |
| Adresa autora | Ulica Egidije Bulešića 7, 43000 Bjelovar |
| Mjesto izrade | Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu |
| Vrsta objave | Diplomski rad |
| Mentor | Doc. dr. sc. Vinko Paulić |
| Izradu rada pomogao | Vedran Zec, mag. ing. silv., Luka Prša mag. ing. silv., Darjan Prugovečki mag. ing. silv. |
| Godina objave | 2019. |
| Obujam | Stranica 38, tablica 8, slika 13, navoda literature 45 |
| Ključne riječi | stabilnost stabla, uklanjanje tla, korijen, Airspade, potezni test, kompeticija, hrast kitnjak |
| Key words | Tree Stability, Soil Removal, Root, Airspade, Pulling Test, Competition, Sessile Oak |
| Sažetak | <p>Karakteristike tla u zoni korijena su važan čimbenik koji utječe na stabilnost stabala radi toga što korijen svojim rastom učvršćuje stablo u tlu te tvori rizosferu. Cilj ovog rada je odrediti utjecaj uklanjanja tla iz neposredne blizine stabla na smanjivanje njegove stabilnosti. Uklanjanje tla će se provesti primjenom sustava sa komprimiranim zrakom, dok će se stabilnost stabala prije i poslije uklanjanja tla određivati metodom poteznog testa. Istraživanje je provedeno u srednjodobnoj mješovitoj sastojini hrasta kitnjaka s običnom bukvom u sklopu gospodarske jedinice 'Dotršćina', Nastavno pokusni šumski objekt Zagreb, kojom gospodari Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.</p> <p>Na primjeru 10 istraživanih stabala hrasta kitnjaka kojima je ukonjeno tlo s korijenskog sustava nije utvrđeno postojanje statistički značajne razlike između momenta savijanja žilišta pri nedestruktivnom poteznom testu prije i nakon tretiranja. Utvrđene su razlike jedino između prvog i drugog potezanja kod stabala kojima je uklonjeno tlo s korijenskog sustava.</p> |

Utvrđena je statistički značajna srednje jaka korelacija pozitivna promjera stabla i momenta savijanja žilišta pri nedestruktivnom testu prije uklanjanja tla te statistički značajna jaka korelacija visine stabla i momenta savijanja žilišta prije i nakon uklanjanja tla. Sa povećanjem dimenzija stabla dolazi do povećanja njihove stabilnosti, odnosno potrebno je djelovati sa većim momentom na stablo da bi došlo do rotacije njegovog žilišta.

| | | |
|---|---|-------------------|
|  | IZJAVA O IZVORNOSTI RADA | OB ŠF 05 07 |
| | | Revizija: 1 |
| | | Datum: 28.6.2017. |

„Izjavljujem da je moj *diplomski rad* izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

vlastoručni potpis

Andrija Čeh

U Zagrebu, 20.09.2019

SADRŽAJ

| | str. |
|--|------|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA | IV |
| 1. UVOD | 2 |
| 1.1. Stabilnost stabala | 4 |
| 1.2.1. Statika stabla | 4 |
| 1.2.1.1. Opterećenje..... | 5 |
| 1.2.1.2. Oblik (forma)..... | 5 |
| 1.2.1.3. Materijal | 6 |
| 1.2.2. Čimbenici smanjenja stabilnosti stabala | 6 |
| 1.2.2.1. Individualne karakteristike stabla..... | 6 |
| 1.2.2.2. Karakteristike sastojine | 7 |
| 1.2.2.3. Karakteristike tla u zoni korijena | 8 |
| 1.2.2.4. Karakteristike topografije terena | 8 |
| 1.2.2.5. Meteorološki uvjeti | 9 |
| 1.3. Korijenski sustav stabala kao čimbenik stabilnosti stabala | 9 |
| 1.3.1. Sustav korijen – tlo | 10 |
| 2. CILJ ISTRAŽIVANJA | 13 |
| 3. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA | 14 |
| 3.1. Područje istraživanja..... | 14 |
| 3.1.1. Geološka podloga i tlo park-šume Dotrščina..... | 15 |
| 3.2. Lokacija istraživanja..... | 16 |
| 3.3. Hrast kitnjak (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.) | 17 |
| 3.4. Potezni test..... | 18 |
| 3.4.1. Opis izmjere sa poteznim testom | 19 |
| 3.5. Istraživana stabla | 21 |
| 3.6. Uklanjanje tla s korijena kod istraživanih stabla | 23 |
| 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA | 26 |
| 4.1. Utjecaj uklanjanja tla na stabilnost stabala..... | 26 |
| 4.2. Utjecaj karakteristika stabla i sastojine na stabilnost stabala | 28 |

| | |
|--------------------|----|
| 5. RASPRAVA | 33 |
| 6. ZAKLJUČAK | 35 |
| LITERATURA..... | 36 |

POPIS SLIKA

| | str. |
|---|------|
| Slika 1. Prikaz lomova i izvale stabla (prilagođeno prema Rigling, 2005.)..... | 4 |
| Slika 2. Sastavnice statičkog trokuta stabala (Paulić, 2015.)..... | 5 |
| Slika 3. Osnovni oblici korijenskog sustava: A) korijenski sustav sa žilom srčanicom. B) čupav korijenski sustav. C) plitki korijenski sustav sa ponirućim korijenjem (prilagođeno prema Thomas, 2018)..... | 10 |
| Slika 4. Odnos sila u sustavu korijen – tlo. F- horizontalna sila vjetra ili vitla; W-slom korijenske ploče na privjetrenoj strani; T- središte debla; L- sila poluge na zavjetrenoj strani (prilagođeno prema Coutts, 1983)..... | 12 |
| Slika 5. Položaj Park šume Dotrščina sa označenom lokacijom istraživanja | 14 |
| Slika 6. Izgled profila tla - pseudoglej obronačni (preuzeto sa Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, 2019)..... | 15 |
| Slika 7. Istraživana sastojina | 16 |
| Slika 8. Areal hrasta kitnjaka: (prema EUFORGEN.org)..... | 17 |
| Slika 9. Dijelovi sustava TreeQinetic (Paulić, 2015) | 19 |
| Slika 10. Pozicije inklinometara na stablu (označeno krugom) | 20 |
| Slika 11. Shematski prikaz poteznog testa (Ghani, 2009)..... | 20 |
| Slika 12. A) Uređaj Airspade. B) Kompresor za pogon Airspade uređaja | 23 |
| Slika 13. A) Uklanjanje tla s korijena hrasta kitnjaka tehnikom komprimiranog zraka (uređaj Airspade). B) Izgled korijena nakon uklanjanja tla..... | 23 |

POPIS TABLICA

| | str. |
|--|------|
| Tablica 1. Primjeri koristi i upotrebe urbanih šuma i stabala..... | 2 |
| Tablica 2. Primjeri nedostataka usluga ekosustava u urbanim područjima (prilagođeno prema Gómez-Baggethun i Barton, 2013.) | 3 |
| Tablica 3. Deskriptivni podaci o istraživanim stablima | 22 |
| Tablica 4. Volumen uklonjenog tla kod istraživanih stabala | 25 |
| Tablica 5. Deskriptivna statistika momenta savijanja žilišta pri otklonu od 0,2° (kNm) | 26 |
| Tablica 6. Analiza varijance ponovljenih mjerenja za moment savijanja žilišta pri otklonu od 0,2° različitih tretiranja (sa tlom i bez tla)..... | 27 |
| Tablica 7. Deskriptivna statistika karakteristika stabla i sastojine na stabilnost stabala..... | 29 |
| Tablica 8. Korelacija momenta savijanja žilišta pri otklonu od 0,2° (kNm) i određenih karakteristika stabla i sastojine (značajne korelacije su označene crvenom bojom)..... | 31 |

PREDGOVOR

Zahvaljujem se svom mentoru doc.dr.sc. Vinku Pauliću koji mi je sa velikom predanošću i sa puno srdačnosti pomogao u pisanju ovog rada.

Veliko hvala i prijateljima i budućim kolegama koji su mi bili velika podrška tijekom mog studija.

Na kraju, najveće hvala ide mojoj obitelji koji su bili uz mene u dobrim i lošim trenucima, mogu slobodno reći da je ovo naše zajedničko postignuće.

1. UVOD

Šume u gradskome okruženju predstavljaju oaze značajno kvalitetnijih životnih uvjeta od ostalih gradskih prostora (Matić i sur., 2010). Glavni nosioci strukture svake šume su stabla. U urbanim sredinama, stabla pružaju mnogostruke okolišne i društvene koristi. Ipak, uvjeti života u gradu značajno se razlikuju od onih u prirodnome okruženju, stoga urbana stabla zahtijevaju specifičnu brigu (Konijnendijk van den Bosch i sur., 2017).

Urbana šuma je šuma ili grupa stabala koja raste u gradu, naselju ili predgrađu. U širem smislu može obuhvaćati bilo kakvu drvenu biljnu vegetaciju koja raste u i oko ljudskih naselja. U užem smislu (naziva se i park šuma) opisuje područja čiji su ekosustavi naslijeđeni ostaci divljine. Njega i gospodarenje urbanim šumama naziva se urbanim šumarstvom. Urbane šume mogu biti u javnom vlasništvu grada, ali se one mogu nalaziti i izvan grada ili grada kojem pripadaju (Ranasinghe i Hemakumara, 2018).

Jedno od prvih razmatranja u razvoju snažnog i sveobuhvatnog programa urbanog šumarstva je utvrđivanje željenih rezultata upravljanja vegetacijom u gradovima. Gradska stabla mogu pružiti širok spektar koristi gradskom okruženju i dobrobiti ljudi. Međutim, također postoji širok spektar potencijalnih troškova, kao i kod svih ekosustava, brojnih interakcija koje moramo razumjeti ako želimo optimizirati punu korist gradske vegetacije. Neodgovarajuće razumijevanje širokog spektra prednosti, troškova i očekivanih ishoda mogućnosti upravljanja gradskom vegetacijom, može drastično umanjiti doprinos vegetacije poboljšanju urbane sredine i kvalitete života (Nowak i Dwyer, 2000).

Urbane šume igraju važnu ulogu u ekologiji ljudskih staništa na više načina: filtriraju zrak, vodu, sunčevu svjetlost, pružaju utočište životinjama i rekreacijski prostor za ljude. Ublažavaju lokalnu klimu, usporavaju vjetar i olujnu vodu i zasjenjuju kuće i tvrtke kako bi uštedjeli energiju (Lev 2017).

Tablica 1. Primjeri koristi i upotrebe urbanih šuma i stabala

| Funkcija ekosustava | Koristi usluga ekosustava |
|----------------------------------|---|
| Socijalne koristi | Rekreacija, poboljšan okoliš, poboljšanje mentalnog i fizičkog zdravlja, kulturne i povijesne vrijednosti |
| Arhitektonske i estetske koristi | Okoliš doživljen kroz različite boje, izmjene godišnjeg doba i doživljavanje prirode, panorama i pogledi na prirodnu kulisu |

| | |
|---------------------|--|
| Klimatske i fizičke | Rashlađivanje, ublažavanje vjetra, smanjenje zračnog zagađenja, buke, bliještanja; sprječavanje erozija i bujica |
| Ekološke koristi | Biotopi flore i faune u urbanom području |
| Gospodarske koristi | Veća vrijednost zemljišta, turizam |

Urbane šume i stabla pružaju mnogo koristi i doprinose kvaliteti života građana. Međutim, osim što pružaju koristi za ljude, stabla imaju određene nedostatke pri pružanju usluga ekosustava u urbanim područjima.

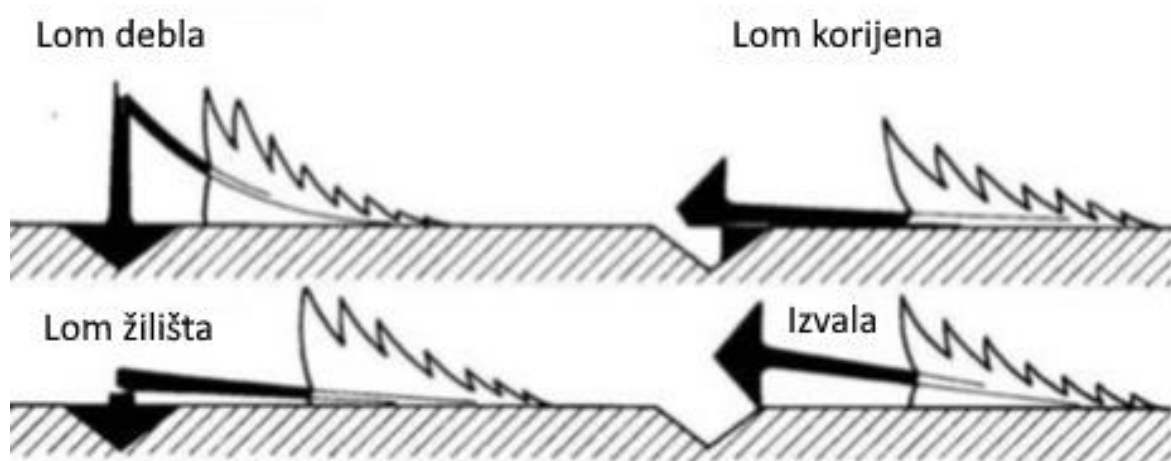
Jedan od najčešćih nedostataka usluga koje stabla pružaju u urbanim područjima je uništavanje nogostupa i cesta rastom korijena što posljedično dovodi do narušavanja funkcionalnosti i estetike prometnica. Također, moguća je pojava alergijskih reakcija, najčešće u proljeće, kada biljke stvaraju polen. Manji nedostaci prisutnosti urbanih stabala su osjećaj nesigurnosti u određeno vrijeme dana, kao i slabija kvaliteta zraka zbog ispuštanja hlapljivih spojeva (Gómez-Baggethun i Barton, 2013). Stabla mogu predstavljati veliki rizik za ljude zbog mogućnosti od nastanka ozljeda, oštećenja imovine i slično uslijed pada stabla ili odlomljenih grana (Paulić 2018).

Tablica 2. Primjeri nedostataka usluga ekosustava u urbanim područjima (prilagođeno prema Gómez-Baggethun i Barton, 2013)

| Funkcija ekosustava | Nedostatci usluga ekosustava | Primjer | Indikator |
|--------------------------------|------------------------------|--|--|
| Fotosinteza | Problem kvalitete zraka | Emisija hlapljivih spojeva (eng. <i>Volatile organic compounds</i>) | Emisija hlapljivih spojeva (VOC)/broj biljka |
| Rast stabla stvaranjem biomase | Smanjena vidljivost | Ometanje pogleda zbog drveća koje je preblizu zgradi | Visoka stabla uz zgrade |
| Oprašivanje biljaka | Alergije | Biljke koje se oprašuju vjetrom uzrokuju alergijske reakcije | Alergenost |
| Starost stabala | Nesreće | Pad stabla i odlomljenih grana na prometnice | Broj ostarjelih stabala |
| Gusti biljni sklop | Strah i stres | Tamna sjenovita područja smatraju se opasnim u određeno vrijeme | Neosvijetljena površina parka |
| Rast korijena, lisni otpad | Štete na infrastrukturi | Lomljenje pločnika rastom korijena | Oštećena površina |

1.1. Stabilnost stabala

Mehaničko ponašanje stabla je u centru interesa mnogih šumarskih istraživanja iz razloga što ono može učiniti oštećenja na drugim stablima ili građevinama, imovini ili samim ljudskim životima. Prikazivanje ponašanja stabla i mjerenje stvarnog stanja stabla na terenu (*in situ*) je veoma važno za procjenu sigurnosti. Stabla prilagode deblo i rast korijenskog sustava kao odgovor na vanjska opterećenja kako bi se oduprla izvali ili lomovima (Horáček, 2005).



Slika 1. Prikaz lomova i izvale stabla (prilagođeno prema Rigling, 2005.)

Do pojave loma dolazi kada je djelovanje vanjskog opterećenja veće od sila kojom se stablo odupire tom djelovanju. Ukoliko vanjsko opterećenje prekorači čvrstoću drva doći će do loma debla, žilišta ili korijena, a ako se djelovanjem vanjskog opterećenja premaši sila kojom je stablo usidreno u tlu doći će do izvale stabla.

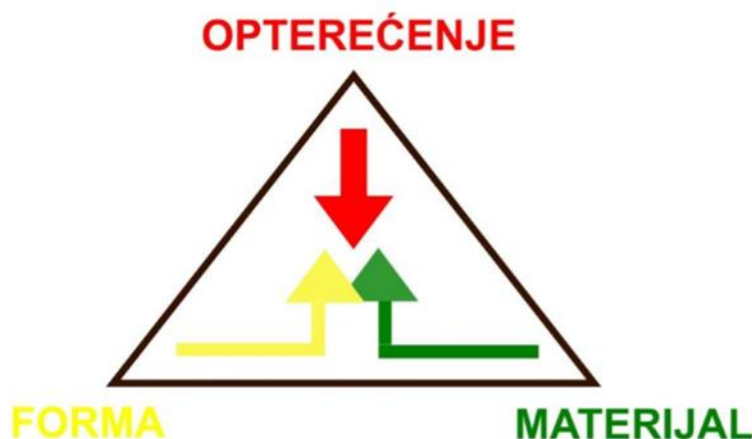
Statika je grana mehanike koja pročava stanja mirovanja tijela u trenutku kada su sile koje na ta tijela djeluju u ravnoteži. Pri tome se statika stabala prije svega odnosi na njihovu sigurnost, odnosno otpornost na vjetroizvalu ili vjetrolom. Sigurnost od vjetroizvale ili vjetroloma ovisi o međudjelovanju vanjskih sila koje utječu na stablo i njegove unutarnje čvrstoće, kao i unaprijed definiranome faktoru sigurnosti (Paulić, 2015).

1.2.1. Statika stabla

Statika stabla opisana je pomoću tri sastavnice:

- ⇒ Opterećenje – olujni vjetrovi, kiša, snijeg
- ⇒ Oblik (forma) – visina stabla, širina krošnje, promjer debla i grana,
- ⇒ Materijal - Naprezanja, krutost, granica elastičnosti, plastičnost.

Statika svakog stabla je pod utjecajem ove tri sastavnice (Wessolly i Erb, 2014).



Slika 2. Sastavnice statičkog trokuta stabala (Paulić, 2015)

1.2.1.1. Opterećenje

Opterećenje možemo podijeliti u dvije vrste. Opterećenje koje stablo čini samo sebi svojim uspravnim rastom i opterećenja koja pristižu iz okoliša. Opterećenje koje si stablo čini svojim uspravnim rastom se objašnjava kroz povećanje potencijalne energije samog stabla. (Wessoly i Erb, 2014).

Vanjska opterećenja, koji utječu na statiku stabla, su bočne sile koje stvara vjetar i ostala opterećenja. Stabla adaptiraju svoje deblo i korijen na opterećenja nastala vjetrom kako bi izbjegla lomljenje ili izvalu (Horáček, 2005).

1.2.1.2. Oblik (forma)

Stablo se prvotno oblikuje prema genetskim osobinama koje ta vrsta biljaka ima, ali i vanjski čimbenici kontroliraju njegov rast. Oblik drveta i grana je uvelike kontroliran biomehaničkim potrebama. U smislu forme, deblo i grane nisu „optimalna struktura“ prilagođena samo jednoj funkciji, nego je „dovoljno dobar“ ili „optimalan kompromis“ oblik koji obavlja različite funkcije (Horáček, 2005). Stablo će se razvijati na način da postigne što optimalniju formu sa što manje utroška energije pri postizanju istoga.

1.2.1.3. Materijal

Otpornost stabla na lom izravno je vezana na stukturu njegova drva. Drvo je anizotropan i heterogen materijal. Kada je u statičkoj ravnoteži, drvo podnosi naprezanja. Mehanička svojstva drva ovise o intenzitetu različitih sila koje na njega djeluju – kompresiji, tenziji, smicanju, savijanju (torziji) – kao i o smjeru djelovanja tih sila s gledišta smjera rasta drvnih vlaknaca (radijalno, longitudinalno ili tangecijalno) (Paulić, 2015).

Struktura drva, koji se smatra ojačavajućim tkivom, je blisko povezano sa opterećenjem koje je utjecalo na njega kroz cijeli vijek rasta (Horáček, 2005). Drvo koje je čitav svoj životni vijek bilo pod utjecajem jakih vanjskih opterećenja, razvijat će čvršće drvo otpornije na opterećenja kako bi se održala uravnotežena statika stabla.

1.2.2. Čimbenici smanjenja stabilnosti stabala

Čimbenike koji utječu na smanjenje stabilnosti stabala Horáček (2005) dijeli na pet kategorija:

- ⇒ individualne karakteristike stabla,
- ⇒ karakteristike sastojine,
- ⇒ karakteristike tla u zoni korijena,
- ⇒ karakteristike topografije terena te
- ⇒ meteorološke uvjete.

1.2.2.1. Individualne karakteristike stabla

Prema Horáčeku (2005) slijedece individualne karakteristike mogu utjecati na stabilnost stabla:

- ⇒ Visina, promjer i oblik debla
- ⇒ Vrsta krošnje i veličina krošnje
- ⇒ Čvrstoća i elastičnost debla i grana
- ⇒ Dubina i površina zakorijenjenja, veličina i broj korijenja i pojava ispreplitanja korijenja sa susjednim stablima
- ⇒ Oštećenja stabla

Povećanjem visine stablo je izloženo jačim udarima vjetra, što je također prisutno kod stabla veće krošnje. Povećanjem dimenzija stablo ima veću površinu na koju djeluje vjetar. Veća površina prema djelovanju vjetra predstavlja veće opterećenje na deblo i korijen. Opterećenje koje se stvara djelovanjem vjetra na krošnji prenosi se na deblo i korijenski sustav.

Karakteristike koje pozitivno utječu na stabilnost stabla su veća čvrstoća debla i grana kao i dobro razvijen korijenski sustav jer kao takvi mogu podnijeti veća opterećenja.

Također veći promjer debla (uz zadržavanje visine stabla) pozitivno djeluje na stabilnost stabla. Povećanje vrijednosti omjera visine i promjera stabla (H/D) (eng. *slenderness coefficient*) čini gornje dijelove stabla težim povećavajući ujedno i opasnost od loma. Kod vitkih stabala jačeg visinskog, a slabijeg debljinskog prirasta (vitka debla uvjetovana sklopom) čak i pri slabom vjetaru može doći do loma stabla. Sa druge strane, soliterna stabla zbog većeg prostora za razvoj krošnje i stalne izloženosti vjetru, potenciraju prirast donjih dijelova stabla ojačavajući deblo i korijenski sustav čime se omjer H/D smanjuje (Oršanić i Drvodelić, 2005). Opasnost od loma se može povećati za kišnog vremena i pri jakom vjetru radi većih opterećenja koji djeluju na krošnju.

Individualne karakteristike stabla koje mogu umanjiti njegovu stabilnost su razna oštećenja koja mogu biti posljedica djelovanja prirodnih pojava ili antropogenih djelovanja. Mokri snijeg, led, grom, vjetar su prirodne pojave koje mogu u kratkom vremenskom razdoblju prouzročiti oštećenja na stablu i time uzrokovati smanjenje stabilnosti. Čovjek može prouzročiti oštećenja na stablima neopreznim upravljanjem šumskom mehanizacijom. Takva oštećenja nisu toliko opasna u trenutku njihova nastanka, nego su potencijalna mjesta ulaska gljiva truležnica koje će se u određenom vremenu razviti, prouzročiti trulež drva i na taj način negativno utjecati na stabilnost stabla.

1.2.2.2. Karakteristike sastojine

Na razini sastojine pojedinačna stabla u većoj ili manjoj mjeri mogu biti podložna smanjenju stabilnosti. Sastojinski čimbenici o kojima ovisi stabilnost pojedinog stabla se prema Horačeku (2005) mogu sadržajno podijeliti u tri kategorije:

- ⇒ Visina sastojine i gustoća
- ⇒ Sastojinski oblik
- ⇒ Uzgojni postupci (prorjeđivanje, orezivanje stabala, oblikovanje sastojinskog ruba, izgradnja kanala u sastojini i sl.)

Sastojine velike gustoće, u kojima je razmak između stabala mali, karakterizirane su velikim brojem stabala sa slabom otpornošću na vanjska opterećenja. Takva stabla se oslanjaju na zaštitu okolnih stabala. Stabla koja se razvijaju u progalama sastojine u kojima su izložena jačim udarima vjetra ili teretu snijega moraju se razvijati u smjeru povećanja otpornosti na vanjska opterećenja (Horaček, 2005).

1.2.2.3. Karakteristike tla u zoni korijena

Tlo je najvažnija sastavnica šumskog ekosustava. Svaka promjena u njemu odražava se na sustav i proizvodnost šume, na kvalitetu drva, otpornost sastojine prema vjetru i biljnim bolestima, na sposobnost reprodukcije i na ekološke i socijalne funkcije šume (Ćirić, 1984). Na temelju poznavanja navedenih odnosa može se pouzdano procijeniti opasnosti kojima se izlaže šumska sastojina u primjeni različitih sustava gospodarenja, te primijeniti odgovarajuće preventivne mjere (Pernar, 2017).

Karakteristike koje utječu na otpornost od vjetroizvala su fizičke značajke tla poput njegove dubine, dreniranosti, struktura, gustoće, teksture i čvrstoće sidrenja korijenskog sustava u tlo (Horáček, 2005). Što su fizičke značajke tla nepovoljnije, kao npr. prevelika gustoća ili plitko tlo, rast korijenskog sustava će biti slabiji i stablo će biti manje stabilno.

Prema Ćiriću (1984) proraščivanjem tla korijenskim sustavom do izražaja dolaze slijedeći utjecaji:

- ⇒ Tlačenje čestica tla zbog rasta korijena, njihovo pomicanje i približavanje drugim česticama
- ⇒ Isušivanje rizosfere zbog usisavanja vode
- ⇒ Lučenje želatinoznih tvari koje pomažu sljepljivanje čestica
- ⇒ Produkcija i odumiranje organske tvari, osobito korijenovih dlačica

Stablo ima najveći utjecaj na površinskih 10-ak cm tla, gdje je razvijena najveća masa sitnog korijenja. Tako proraščeno tlo je zaštićeno od erozije.

Prorastanje tla korijenom dovodi do tzv. armiranosti šumskog tla (eng. *root reinforcement*). Tako proraslo tlo otpornije je na deformacije zbijanjem, a ujedno se lakše regenerira u odnosu na tlo s oskudnom rizosferom (Pernar, 2017).

1.2.2.4. Karakteristike topografije terena

Topografija terena, prema Horáčeku (2005), utječe na stabilnost stabala modificiranjem:

- ⇒ izloženosti vjetru,
- ⇒ smjera, brzine i turbulencija vjetra.

Prema Nicollu (1996) izloženost vjetru utječe i na formiranje korijenskog sustava stabala koji se orijentira prema smjeru od kojeg dolaze najintenzivniji vjetrovi. U pogledu smjera, brzine i turbulencija vjetra postoje dvije strane reljefa terena koje se razmatraju. To su privjetrena strana (eng. *windward*) i i zavjetrena (eng. *leeward*) strana. Prema Volarić (1999) kod privjetrene

strane brzina vjetra je velika, a turbulencija je zanemariva, dok kod zavjetrene strane brzina vjetra je manja kako se on kreće uzbrdo, međutim turbulencije se pojačavaju. Za urbana stabla puno je opasnija turbulencija vjetra nego njegova brzina (Tumpa 2018).

1.2.2.5. Meteorološki uvjeti

Količina oborina i vjetar su najvažniji meteorološki čimbenici koji utječu na stabilnost stabla. Prevelika količina oborina u kratkom vremenu mogu izazvati brže razlaganje agregata tla te ga time izložiti potencijalnim izvalama (Kamimura, 2011).

Vjetar u olujnom obliku može značajno poremetiti stabilnost stabla. Nakon niza godina bez većih vjetrova može se pojaviti jedan olujni vjetar i prouzročiti štete ogromnih razmjera. Jakim vjetrom može doći do šteta od nakupljanja velikih količina lišća, lomljenja grana, izvala ili prijeloma stabla (Quine i Gardiner, 2007).

1.3. Korijenski sustav stabala kao čimbenik stabilnosti stabala

Korijenski sustav od temeljne je važnosti za rast i opstanak stabala. Njegova uloga je da osigurava opskrbu vodom i otopljenim hranjivim tvarima. Pod korijenskim sustavom se smatra sve korijenje jednog stabla.

Stabilnost korijenskog sustava ovisi o težini korijenove ploče, smičnoj čvrstoći tla, vlačnoj čvrstoći korijenja u smjeru vjetra i čvrstoći na savijanje dubljeg i postranog korijenja. Tlo je medij u kojem se korijenski sustav razvija. Faktori koji utječu hoće li se stablo izvaliti ili slomiti su korijenov sustav, smjer i jačina/brzina vjetra, dubina tla i sadržaj vode, veličina i oblik krošnje, čvrstoća debla, visina stabla i je li stablo pogođeno stablom koje pada (Paulić, 2015).

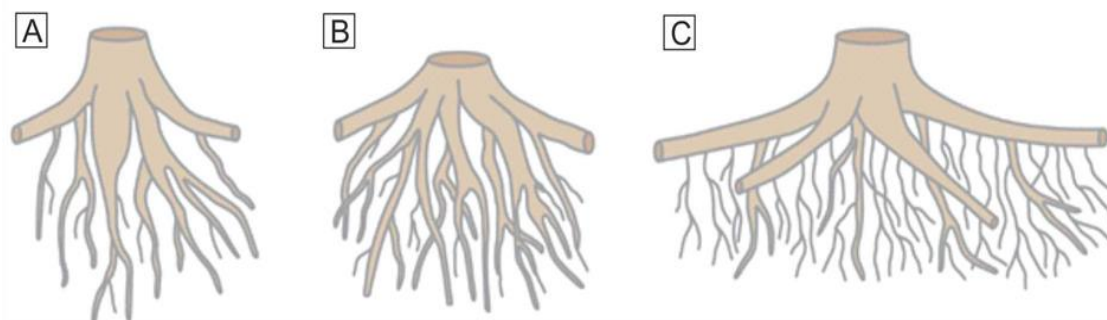
Osim toga korijenski sustav stabala je ključan čimbenik njihove stabilnosti. Mehanička stabilnost stabala (eng. *Mechanical stability of trees*) ovisi o korijenskom sustavu i njegovom razvoju u tlu. Korijenski sustav stabla se razvija tijekom vremena kako stablo stari i na taj način se prilagođava svoju ulogu i izgled prema djelovanju različitih vanjskih opterećenja.

Osnovna morfologija korijenskog sustava je uvjetovana prvenstveno genetskim čimbenicima. Korijenski sustav stabala se može prilagođavati uvjetima okoline i tu on pokazuje plastičnost koja je svojstvena pojedinim vrstama.

Korijenski sustav stabla s obzirom na oblik se dijeli u tri glavne skupine:

⇒ korijenski sustav sa žilom srčanicom.

- ⇒ čupav korijenski sustav.
- ⇒ plitki korijenski sustav sa ponirućim korijenjem



Slika 3. Osnovni oblici korijenskog sustava: A) korijenski sustav sa žilom srčanicom. B) čupav korijenski sustav. C) plitki korijenski sustav sa ponirućim korijenjem (prilagođeno prema Thomas, 2018)

Morfologija korijena je uvelike određena genotipom vrste biljaka. Na morfologiju korijena utječu brojni biotički i abiotički čimbenici koji čine heterogeni sastav tla.

1.3.1. Sustav korijen – tlo

Korijenski sustav biljaka svojom ulogom i položajem ojačava sustav korijen - tlo (eng. *root soil matrix*). Čvrstoća sustava korijen – tlo ovisi o karakteristikama tla i svojstvima korijena, kao i o smjeru djelovanja vanjskih sila.

Drvenasti korijenov sustav tvori usidrenje za pridržavanje stabla, gdje je glavno korijenje slabo razvijeno ili ga uopće nema stabilnost će stabla biti umanjena. Mnogi genetski i ekološki faktori utječu na razvoj korijena. Od genetskih faktora govorimo o sposobnosti stvaranja vrhova korijena koji se kasnije razvijaju u strukturno korijenje. Okolišni faktori se odnose na karakteristike tla u kojem se korijenski sustav razvija, njegovim kemijskim i fizikalnim svojstvima. (Coutts 1983; Nielsen 1991).

Korijenski sustav pruža ojačanje u sustavu korijen-tlo zbog različitih svojstava materijala tla i korijena (Greenway, 1987). Tlo je snažno pod utjecajem tlačne sile, ali slabo pod utjecajem vlačne sile. Suprotno tome, korijenje je slabo pod utjecajem tlačne sile, ali jako pod utjecajem vlačne sile. Prisutnost korijena u tlu stvara ojačanu matricu u kojoj je stres prilikom opterećenja

tla prebačen na korijen (Thorne, 1990) na način sličan armiranju betona. Nekoliko faktora može utjecati na jačanje tla korijenom, uključujući gustoću korijena, korijenovo grananje, Youngov modul i vlačna čvrstoća korijena (Greenway, 1987), i sadržaj vlage u korijenu (Collins, 2001).

Idealan korijenski sustav ne postoji, ne mogu se naći dva ista korijenska sustava jer se svako stablo prilagođava lokalitetu na kojem raste na svoj način. Ako je tlo prevelike gustoće, korijen neće moći postići svoj optimum (Coutts, 1983).

Gustoća tla se ne odnosi samo na gustoću krute faze tla, već u obzir dolaze i plinovita i kapljevita faza tla. (Pernar 2015). Prevelika gustoća tla može spriječavati razvoj korijenskog sustava i time umanjiti stabilnost stabla, međutim korijenski sustav koji se razvio u tlu male gustoće je podložan vjetroizvali.

Poroznost tla je dinamičko svojstvo, a odnosi se na udio pora koje se nalaze između krute faze tla. Na njegovu dinamiku utječu vlažnost tla, kemijske promjene u tlu, organizmi tla, ono se mijenja s dubinom u tlu i mijenja se s razvojem tla. O poroznosti ovisi razvoj korijenovog sustava, a time i statika biljke (Pernar 2015).

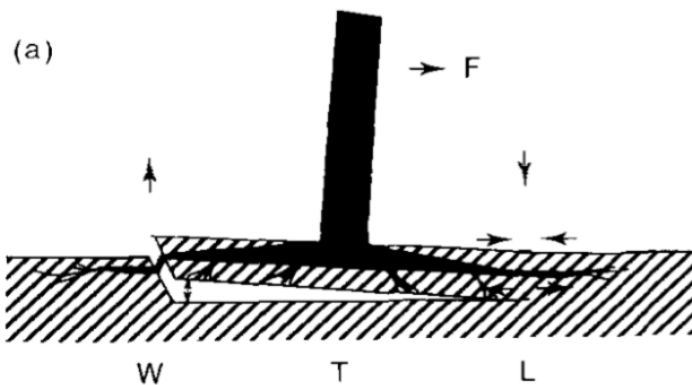
Karakteristika tla je erodibilnost. Erozijski je prirodni proces odvajanja čestica tla, njihova prenošenja i odlaganje na drugom mjestu, uz pomoć gravitacije, vode i vjetra. Prirodna erozija se pretežno manifestira kao normalni proces gdje se čestice premještaju laganim intenzitetom, sporije od progradacijskih procesa tla. Ponekad se prirodna erozija manifestira u razornoj formi što može negativno utjecati na korijenski sustav stabla i njegovu stabilnost (Pernar 2015).

Na stabilnost stabla ova pojava utječe na sljedeći način:

- ⇒ sile kojima se čestice tla drže zajedno nestaju, a samim time i integritet tla;
- ⇒ korijen stabla više se ne nalazi u čvrstome mediju već slobodno gibajućem („tekućem“) te gubi oslonac.

Ako se takvi uvjeti u tlu poklope s udarima vjetra, stablo će se izvaliti (Szavits-Nossan, 2009).

Urbana stabla izložena su velikom broju negativnih utjecaja. Najmanja ozljeda može dovesti do umanjivanja vitalnosti, a time i stabilnosti. Ona stabla koja rastu u samom gradu nemaju najbolje uvjete za razvoj korijenskog sustava, odnosno loš sustav korijen – tlo. Tlo u gradovima je zbijeno, zagađeno, presuho, siromašno hranjivima, a volumen tla u kojemu se korijen razvija je premalen što negativno utječe na biljke sa dubokim korijenskim sustavom (Sieghardt i sur., 2011).



Slika 4. Odnos sila u sustavu korijen – tlo. F- horizontalna sila vjetra ili vitla; W-slom korijenske ploče na privjetrenoj strani; T- središte debla; L- sila poluge na zavjetrenoj strani (prilagođeno prema Coutts, 1983)

Vjetar svojim djelovanjem radi opterećenje na stablo koje se potom prenosi na korijenski sustav, a korijenski sustav je u čvrstoj vezi sa tlom. Očitovanje sile će biti različito, ovisno o strani stabla na koju će djelovati. Na strani s koje djeluje sila vjetra dolazi do podizanja zone korijena i postoji mogućnost pucanja, dok na suprotnoj strani od djelovanja sile dolazi do zbijanja u zoni korijenja. (Coutts, 1983).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

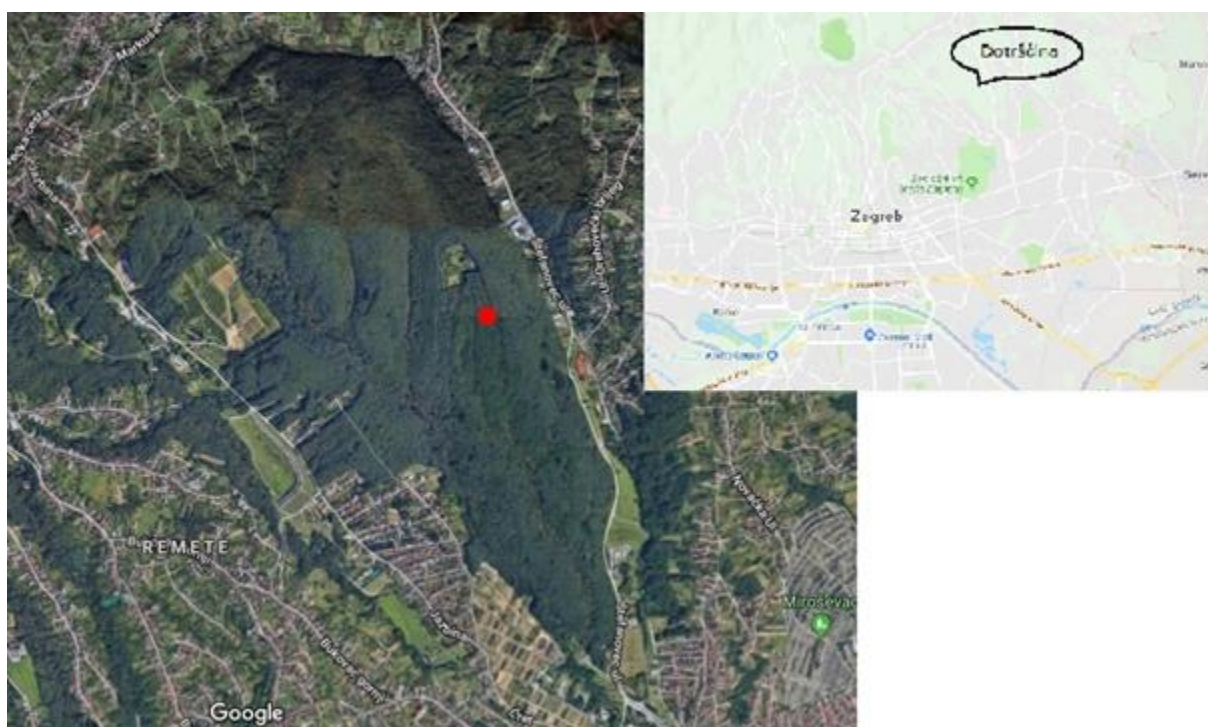
Cilj ovog rada je odrediti utjecaj uklanjanja tla iz neposredne blizine stabla na smanjivanje stabilnosti hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) mjerenu poteznim testom. Ispitivanje je provedeno u srednjodobnoj sastojini hrasta kitnjaka sa primjesama bukve u sklopu gospodarske jedinice “Dotrščina”, Nastavno pokusno šumski objekt Zagreb, kojim gospodari Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

3. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Područje istraživanja

Istraživanje je provedeno na području šume Dotrščina. To je šuma koja je uklopljena u područje grada Zagreba čija je primarna zadaća pružanje općekorisnih funkcija građanima. Punu potvrdu svoje vrijednosti glede općekorisnih funkcija svakim danom sve više doživljavaju šume koje se nalaze u okruženju ili neposrednoj blizini naselja, a koje su najčešće prema Zakonu o zaštiti prirode proglašene zaštićenim dijelovima prirode, najčešće u kategoriji park-šuma. One, osim toga što predstavljaju značajno ekološko uporište toga područja, u svako doba pružaju čovjeku sve kategorije općekorisnih funkcija šuma, svrstane u društvene (socijalne) i ekološke (zaštitne) funkcije (Matić i sur., 2010)

Šuma Dotrščina prostire se na padinama jugoistočnog obronka Medvednice, te oko 6,5 km sjeveroistočno od centra grada Zagreba . Smještena je sjeveroistočno od maksimirske šume, između potoka Štefanovec i Bliznec, a na sjeveru se proteže do naselja Bačun i Štefanovec. Ime je dobila prema potočiću Dotrščini (Doktorščini) koji se spušta s Medvednice. Nadmorska visina Dotrščine kreće se u rasponu između 175 m i 304 m (Budisavljević, 2017).



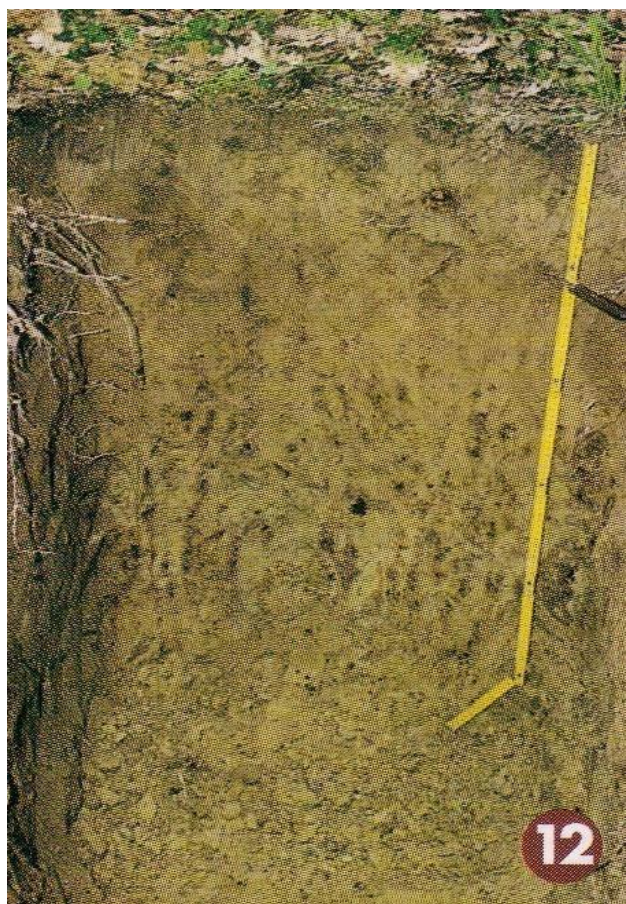
Slika 5. Položaj Park šume Dotrščina sa označenom lokacijom istraživanja

Dotrščina predstavlja najveći zagrebački gradski park te sa Maksimirom čini najveću parkovno rekreativnu zonu Zagreba (Anić i Oršanić, 2010). Park-šuma Dotrščina se nalazi u samoj blizini

grada Zagreba te je kao takva izložena mnogim nepovoljnim utjecajima, kao što su zagađeni zrak, prometnice, biciklističke staze. Pod utjecajem takvog nepovoljnog okruženja postoji i velika opasnost od oštećivanja stabala, čija je stabilnost narušena i time postaju opasni na svoje okruženje. Zbog svega navedenog Dotrščina je odabrana kao lokacija ovog istraživanja. Radi se o prostoru koja ima puno posjetitelja čime je značaj utvrđivanja utjecaja različitih čimebenika na povećanje opasnosti od izvale ili loma stabala važan za sigurnost posjetitelja.

3.1.1. Geološka podloga i tlo park-šume Dotrščina

Dotrščina se nalazi na jugoistočnim padinama Medvednice gdje se prema (Anić i Oršanić, 2010) nalaze silikatni i silikatno-karbonatni supstrati površ koji se nalaze različite vrste tala, među kojima su smeđa kisela tla, pseudoglej, luvisolaluvijalno i koluvijalno tlo. Najzastupljenija vrsta tla je pseudoglej obrončani, taksturna oznaka tog područja je praškasta ilovača i glinasta ilovača (Paulić, 2015).



Slika 6. Izgled profila tla - pseudoglej obrončani (preuzeto sa [Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, 2019](#))

Supstrat iz kojeg se razvija pseudoglej pretežno je teksturno diferenciran, ispod propusnog sloja na dubini od 30-40 cm je slabo propusni sloj. Pseudoglej je u površinskom djelu praškaste teksture, tako da je u mokroj fazi kašaste konzistencije, a u suhoj tvrd i kompaktan. A-horizont ima poroznost do 50% i kapacitet za zrak 10-15%. A-horizont pod šumom je bogat organskom tvari, a dubinom udjel naglo opada. To je tlo kojemu je plodnost limitirana dubinom teško propusnog horizonta. Karakterizira ga slabo izražena i nestabilna struktura, niskog stupnja infiltracije i dreniranosti, pa je vrlo podložan eroziji (Pernar, 2015).

Praškata ilovača su tla s povećanim udjelom čestica praha od 70% -85%, a udjel pijeska i gline iznosi oko 30%. Sa podjednakim udjelom mikropora i makropora omogućuje dobru infiltraciju vode, a mehanička svojstva su takva da omogućuju nesmetan rast korijenova sustava

3.2. Lokacija istraživanja

Istraživanje je provedeno u 13a odsjeku gospodarske jedinice NPŠO Dotrščina kojom gospodari NPŠO Zagreb Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Riječ je o srednjedobnoj sastojini hrasta kitnjaka sa običnom bukvom dobre kvalitete.

Iznad jarka je bukva s hrastom kitnjakom, dakle radi se o asocijaciji ilirske šume hrasta kitnjaka i običnog graba s biskupskom kapicom subasocijacija sa trepavičastim šašem (lat. *Epimedio-carpinetum betuli caricetosum pilosae* Horvat 1938). Starost stabala hrasta kitnjaka u istraživanom odsjeku je bila od 60 do 70 godina. Srednje plošno stablo hrasta kitnjaka u 13a odsjeku iznosi 29,81 centimetara, a srednja sastojinska visina je bila 22,9 metara. Na jednom hektaru sastojine se nalazi 271 stablo hrasta kitnjaka.



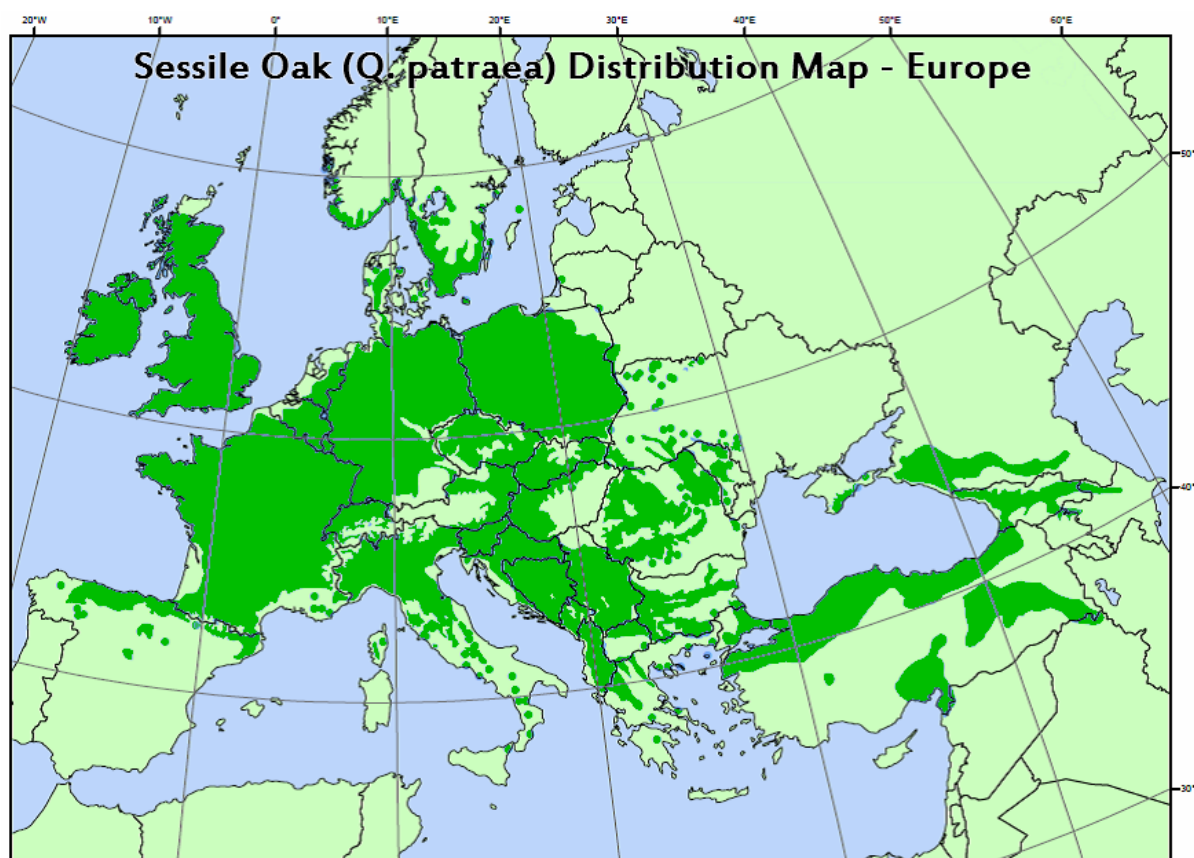
Slika 7. Istraživana sastojina

3.3. Hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)

Jedna od najvažnijih vrsta u hrvatskim šumama je hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). On je listopadna vrsta, počinje cvjetati nakon 20 godina starosti, ako se nalazi u sastojini onda nakon 40 godina. Cvjeta u IV. i V. mjesecu, a sazreli žir možemo naći u IX. i X. mjesecu. Stablo može narasti maksimalno do 45 m, a krošnja je široka i jajastog oblika. Ima dobro razvijen korijenov sustav sa snažnom žilom srčanicom (Idžojić, 2013). Hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) ima sličan korijenski sustav kao hrast lužnjak (*Quercus robur* L.). Odlikuju se dobro razvijenim horizontalnim sustavom korijena s ponirućim korijenjem te snažnom žilom srčanicom. Kitnjak je manje sklon izvalama zahvaljujući ovom kombiniranom sustavu korijena u odnosu na sustave sa žilom srčanicom ili ponirućim korijenjem (Drexhage i sur., 2011). Horizontalno korijenje predstavlja 80% ukupne biomase korijenskoga sustava hrasta. Zabilježeno je kako se poniruće korijenje nalazi puno dublje u tlu od ostalih vrsta, a to je iz razloga da si omogući bolju transpiraciju tijekom sušnih razdoblja.

Dobro prodiranje korijena omogućavaju pseudoglej te teška glinasto ilovasta tla, koji spadaju u teksturno teža tla (Drexhage i sur., 2011).

Hrast kitnjak rasprostire se po Europi, na području Kavkaza i Male Azije (Idžojić, 2013).



Slika 8. Areal hrasta kitnjaka: (prema EUFORGEN.org)

3.4. Potezni test

Potezni test uključuje primjenjivanje sile na nosive, nadzemne dijelove stabla, čime se utvrđuje njihova reakcija na primjenu sile, odnosno vjerojatnost da će se stablo izvaliti. Metoda je procjene sigurnosti od loma i izvale cijeloga stabla. Njime se simulira utjecaj udara vjetra na stablo, odnosno djelovanje sile vjetra.

Potezni test se provodi kao jedna od mjera statičkih integriranih metoda (eng *Static-Integrated Methods*) u svrhu istraživanja sigurnosti od vjetroloma ili vjetroloma, odnosno procjene stabilnosti stabla. Potezni test je u osnovi nedestruktivna metoda nakon koje stablo može nesmetano nastaviti svoj rast. (Wessoly i Erb, 2014).

Prema (Tumpa, 2018), prvi korak poteznoga testa jest analiza opterećenja vjetrom, koja se provodi primjenom Newtonove formulom za izračun opterećenja vjetrom. Porastom visine stabla eksponencijalno se povećava opterećenje vjetrom, jer sa visinom vjetra raste i njegova brzina zahvaljujući smanjenom otporu vjetra (Detter i sur., 2018). Prema formuli, ukupna srednja sila (F_{vjetar}), koja se javlja uslijed djelovanja vjetra, jest suma svih sila koje djeluju u svim točkama debla i krošnje do određene visine (z), te se može prikazati matematičkim izrazom

$$F_{vjetar} = \frac{1}{2} c_w \rho v_z^2 A ,$$

u kojem je:

c_w - koeficijent otpora

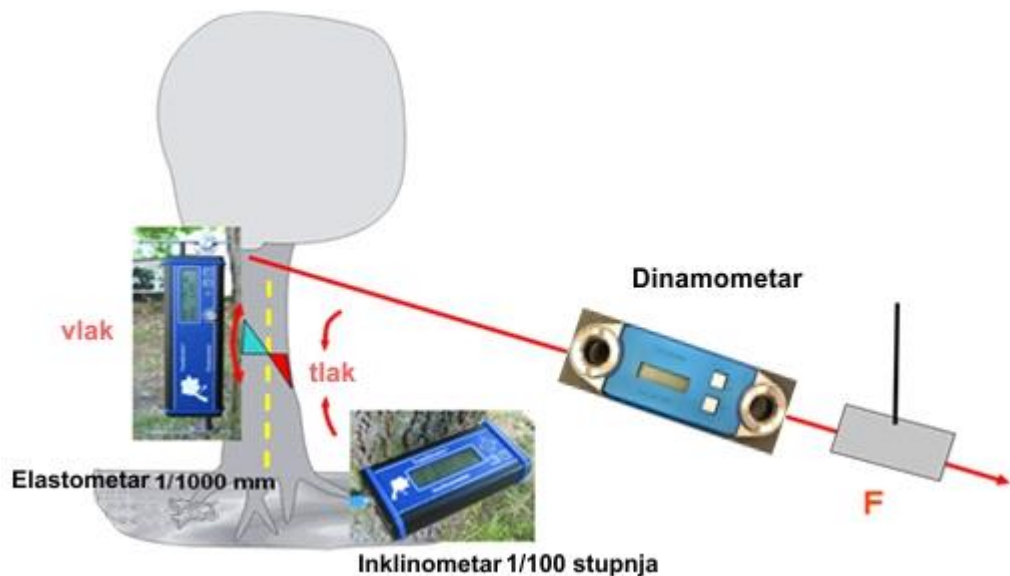
ρ – gustoća zraka

v_z^2 – srednja brzina vjetra

A – površina debla i krošnje na koju vjetar djeluje (Horáček, 2005)

Drugi korak poteznoga testa predstavlja elasto-inklino metoda mjerenja otklona stabla. Primjenom senzora inklinometara i elastometara, procijenjuje se vjerojatnost od izvale stabla (inklinometri), odnosno prijeloma debla (elastometri). Stablo se povlači vitlom preko sustava čelične užadi pri čemu se dinamometrom mjeri primjenjena sila, što ima za posljedicu otklon stabla za određeni stupanj, koji je u vezi sa stupnjem rotacije korijena uz žilište. Istovremeno, drvena vlakanca debla se na strani udara vjetra istežu, a zbijaju na suprotnoj strani (Tumpa, 2018). Na temelju usporedbe rezultata dobivenih u prva dva koraka, izračunava se faktor

sigurnosti stabla od izvale ili loma koji se koristi za prosudbu mehaničkog stanja stabla (Detter i sur., 2018).



Slika 9. Dijelovi sustava TreeQinetic (Paulić, 2015)

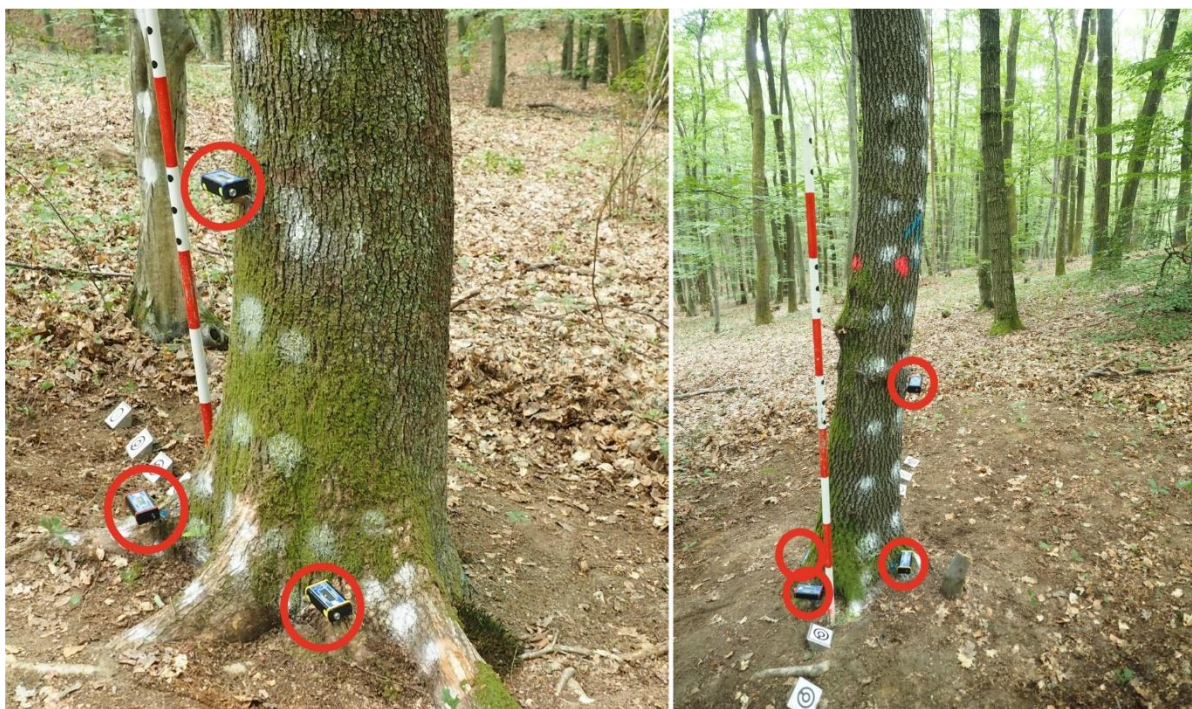
3.4.1. Opis izmjere sa poteznim testom

Za istraživanje je korišten sustav TreeQinetic (Argus Electronic GmbH, Njemačka). Sustav se sastojao od jedinice za bežično prikupljanje i prijenos podataka na prijenosno računalo, u stvarnome vremenu (tzv. data logger), četiri inklinometra i dinamometra.

Sidrište za potezni test na stablu koje se ispituje se postavlja što je više moguće, odnosno što je bliže moguće teoretskom težištu stabla. Na tlu uz stablo koje predstavlja drugu poziciju sidrenja se nalazi ručno vitlo kojim se uže zateže.

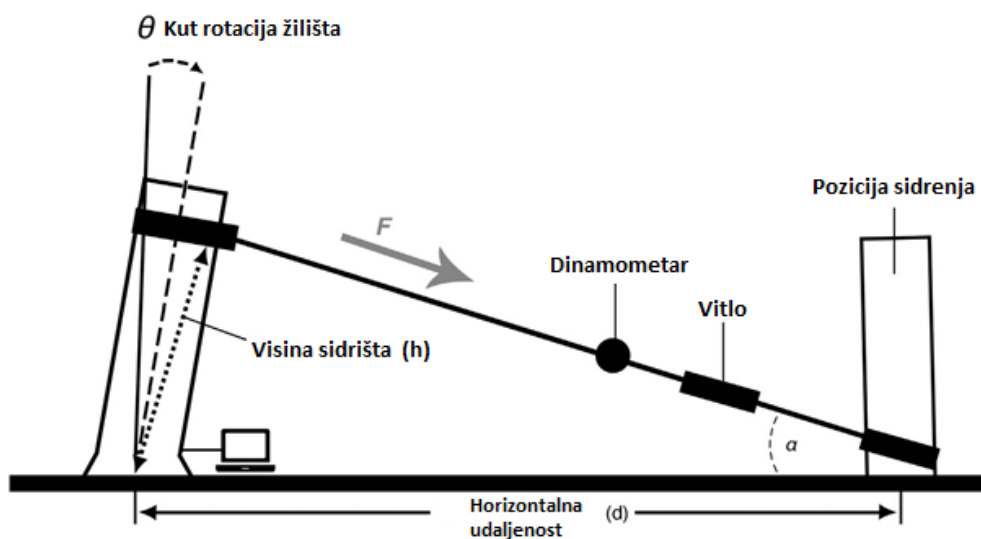
Stablo se povlačilo ručnim vitlom, koje je postavljeno na tlo uz poziciju sidrenja, sustavom čelične užadi. Na užetu je postavljen dinamometar preko kojega smo očitavali silu potezanja, dok se istovremeno bilježio nagib (rotacija) žilišta inklinometrima.

Inklinometri se postavljaju što bliže tlu na žilište stabla. Cilj je postaviti ih na žilište na svaku stranu svijeta po jedan senzor oko stabla. Postavljaju se paralelno i okomito na smjer povlačenja. Prema Tumpi (2018) mjerenjem se bilježi nagib žilišta u smjeru x-osi (inklinometri



Slika 10. Pozicije inklinometara na stablu (označeno krugom)

paralelni na smjer povlačenja), odnosno u smjeru y-osi (inklinometri okomiti na smjer povlačenja). Zabilježene vrijednosti dobivene inklinometrima izražene na stotinku stupnja stavljaju se u odnos sa dobivenom silom na dinamometru iz čega vidimo ponašanje opterećenog korijenskog sustava.



Slika 11. Shematski prikaz poteznog testa (Ghani, 2009)

Smjer potezanja je bio u pravcu dominantnih vjetrova u Zagrebu je sjever- sjeveroistok, što je odgovaralo potezanju stabla u slojnici terena.

Svako stablo potezano je tri puta dok nije potezanjem postignut maksimalno određeni kut rotacije žilišta koji je iznosio $0,2^\circ$. Vrijednost rotacije žilišta od $0,2^\circ$ je određena jer se smatra da je ona ispod vrijednosti kod kojih dolazi do trajnog oštećenja korijenskog sustava (Wessoly i Erb, 2014). Nakon toga prekinulo se sa povlačenjem i stablo se vratilo u prvobitni položaj.

Ispitivanje je rađeno na stablima prije uklanjanja tla tehnikom komprimiranog zraka, te na isti način nakon tretiranja tj. uklanjanja tla.

Prilikom mjerenja zabilježeni su položaji svih senzora, visina sidrišta na stablu, visina samoga stabla, kao i udaljenost od stabla na kojemu se nalazi pozicija sidrenja užadi za potezanje stabla (horizontalna udaljenost).

Na osnovi zabilježenih vrijednosti izračunat je moment savijanja žilišta pri odklonu od $0,2^\circ$ (Brudi i van Wassenae, 2002)

$$M_{b0,2^\circ} = F_{\max} \cos \theta h$$

$M_{b0,2^\circ}$ – moment savijanja žilišta pri odklonu od $0,2^\circ$ [kNm]

F – sila izmjerena na užetu [kN]

$\cos \theta$ – kut između užeta i horizontalne linije

h – visina sidrišta na stablu [m]

Moment savijanja žilišta radi težine stabla i pomaka debela i krošnje uslijed potezanja nije računat u ovom istraživanju (Moore, 2000).

3.5. Istraživana stabla

Istraživanje je provedeno na zrelim stablima hrasta kitnjaka podjednake dimenzije, podjednako razvijene krošnje i ravni debela, po mogućnosti bez obilježja truleži. Stanišni uvjeti i klimatski čimbenici kojima su izloženi stabla su bila homogena, s obzirom da su stabla rasla na istoj padini (nagib $10-15^\circ$) približno iste nadmorske visine.

Za testiranje stabilnosti stabala u ovom radu odabrano je sveukupno 20 stabala hrasta kitnjaka.

Na 10 stabala je vršeno uklanjanje tla oko korijena, dok je kod ostalih 10 određivana stabilnost bez uklanjanja tla. Prosječni promjer stabala na prsnoj visini iznosi 34,3 cm, a promjer žilišta se kreće u rasponu od 56 do 79 cm. Prosječna visina ispitivanih stabala iznosi 24,24 m, a visina

na koju smo postavljali sidrište na stablu je bila u rasponu od 5,1 do 6,8 m. Visina baze krošnje je iznosila u rasponu od 6,9 do 18,8 m. Ovaj veliki raspon za visinu baze krošnje nam pokazuje koeficijent varijabilnost koji iznosi 27,57% .

Tablica 3. Deskriptivni podaci o istraživanim stablima

| Redni br. stabla | Oznaka stabla | Promjer žilišta (cm) | d _{1,0 m} (cm) | d _{1,3 m} (cm) | h stabla (m) | h sidrišta (m) | h baze krošnje (m) |
|-----------------------|---------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|----------------|--------------------|
| 1 | 1 | 79 | 40 | 39 | 29,4 | 6,8 | 15,0 |
| 2 | 2 | 58 | 30 | 29 | 24,3 | 6,6 | 18,8 |
| 3 | 3 | 66 | 32 | 32 | 24,5 | 6,3 | 14,5 |
| 4 | 4 | 59 | 32 | 31 | 22,4 | 6,4 | 13,1 |
| 5 | 5 | 65 | 32 | 32 | 25,0 | 6,3 | 7,9 |
| 6 | 7 | 73 | 42 | 40 | 26,2 | 6,3 | 11,0 |
| 7 | 10 | 69 | 34 | 33 | 25,1 | 6,5 | 8,5 |
| 8 | 11 | 60 | 38 | 36 | 25,6 | 5,2 | 12,3 |
| 9 | 12 | 58 | 35 | 35 | 23,4 | 6,4 | 13,9 |
| 10 | 14 | 78 | 35 | 35 | 23,6 | 6,2 | 8,0 |
| 11 | 19 | 68 | 38 | 36 | 24,8 | 6,3 | 18,1 |
| 12 | 20 | 59 | 35 | 35 | 25,9 | 6,6 | 11,6 |
| 13 | 22 | 73 | 36 | 34 | 25,8 | 6,6 | 13,5 |
| 14 | 23 | 61 | 36 | 35 | 24,4 | 6,6 | 9,8 |
| 15 | 24 | 71 | 33 | 33 | 22,2 | 6,2 | 12,4 |
| 16 | 25 | 56 | 30 | 30 | 20,8 | 6,1 | 8,7 |
| 17 | 26 | 68 | 37 | 37 | 21,7 | 5,1 | 8,3 |
| 18 | 27 | 77 | 39 | 39 | 23,0 | 5,9 | 15,3 |
| 19 | 28 | 64 | 35 | 34 | 22,7 | 5,8 | 6,9 |
| 20 | 31 | | 32 | 31 | 23,9 | 5,8 | 13,7 |
| Srednja vrijednost | | 66 | 35 | 34 | 24,2 | 6,2 | 12,1 |
| Min | | 56 | 30 | 29 | 20,8 | 5,1 | 6,9 |
| Max | | 79 | 42 | 40 | 29,4 | 6,8 | 18,8 |
| Standardna devijacija | | 7,1 | 4,2 | 2,9 | 1,9 | 0,4 | 3,3 |
| Koeficijent varijab. | | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,27 |

3.6. Uklanjanje tla s korijena kod istraživanih stabla

Uklanjanje tla sa korjenskog sustava kitnjakovih stabala je napravljeno korištenjem tehnike komprimiranog ili stlačenog zraka. Tehnika komprimiranog zraka se koristi za pogon kompresora. To su strojevi i uređaji koji ostvaruju omjer kompresije veći od 1 : 3, a pogone različite pneumatske alate. Kod uklanjanja tla kao alat se koristio sustav Airspade® sa cijevi koja na vrhu ima mlaznicu kroz koju se ispuhuje zrak velikom brzinom.



Slika 12. A) Uređaj Airspade. B) Kompresor za pogon Airspade uređaja

Potisak (eng. *thrust*) je efektivna sila proizvedena mlaznicom za zrak i nastaje kombiniranim djelovanjem tlaka i protoka zraka. Sa jačim potiskom, dostupnija nam je jača sila uklanjanja tla. Tlo je rastresiti sustav čvrste, plinovite i tekuće faza, a praznine između čestica tla omogućava mlazu zraka da slomi agregate tla, dok na jače materijale poput drva (korijena) ne utječe. Mlaznica AirSpade® sustava pretvara komprimirani zrak u brzi mlaz (koji se kreće dvostruko brže od zvuka tj. brzinom od 680 m/s) koji je usmjeren u korijenski sustav stabla te sa na taj način vrši uklanjanje tla.



Slika 13. A) Uklanjanje tla s korijena hrasta kitnjaka tehnikom komprimiranog zraka (uređaj Airspade). B) Izgled korijena nakon uklanjanja tla.

Uklanjanje tla u ovom istraživanju kod kitnjakovih stabala je vršeno komprimiranim zrakom pomoću uređaja AirSpade® bez oštećivanja horizontalnog, površnog djela korijenskog sustava stabla u krugu radijusa od 2 metra oko debla (promjer 4 m) i na dubini od oko 30 cm .

Ukupni volumen uklonjenog tla je izračunat korištenjem formule za volumen kugline kape tj. odsječka korijenskog sustava koji ima sličan oblik dijelu kugle ili sfere.

Volumen kugline kape uklonjenog tla s korijenskog sustava:

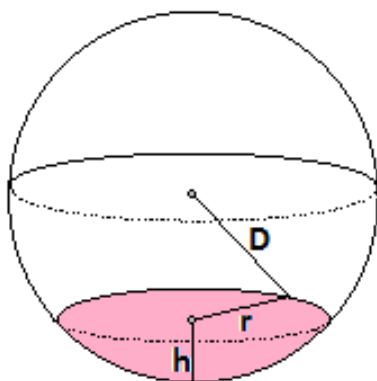
$$V = \frac{1}{3}\pi \times h^2(3r - h) ,$$

u kojem je:

h – visina sfernog odsječka

r – radijus sfernog odsječka

D – promjer sfere



Slika 14. Prikaz sfernog odsječka (prilagođeno prema Anon.1, 2019)

Uklonjeno je tlo sa korijenskog sustava kod 10 istraživanih stabala hrasta kitnjaka. Prosječna dubina uklonjenog tla iznosi 29.33 cm, prosječni promjer korijenskog busena iznosi 404.44 cm, dok je volumen uklonjenog tla iznosio prosječno 1.087 m³. U odnosu na ostala stabla kod kojih je uklonjenja podjednaka količina tla, ističe se stablo pod rednim brojem 2 kod kojeg je dubina uklonjenog tla iznosila 17 cm, a ukupni volumen uklonjenog tla iznosi 0,358m³.

Tablica 4. Volumen uklonjenog tla kod istraživanih stabala

| Redni br. stabla | Oznaka stabla | h-dubina korijena (cm) | d - promjer korijenskog busena(cm) | volumen (m³) |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|---|--------------------------------|
| 1 | 1 | 30 | 400 | 1,103 |
| 2 | 2 | 33 | 400 | 1,331 |
| 3 | 3 | 17 | 400 | 0,358 |
| 4 | 4 | 33 | 390 | 1,297 |
| 5 | 5 | 31 | 350 | 1,025 |
| 6 | 7 | 30 | 400 | 1,103 |
| 7 | 10 | 30 | 400 | 1,103 |
| 8 | 11 | 28 | 500 | 1,209 |
| 9 | 12 | 32 | 400 | 1,252 |
| 10 | 14 | 30 | 400 | 1,103 |
| Srednja vrijednost | | 29,3 | 404,4 | 1,087 |
| Min | | 17 | 350 | 0,358 |
| Max | | 33 | 500 | 1,331 |
| Standardna devijacija | | 4,62 | 37,15 | 0,28 |
| Koeficijent varijabilnosti | | 0,16 | 0,09 | 0,26 |

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1. Utjecaj uklanjanja tla na stabilnost stabala

Cilj višestrukih povlačenja stabala bio je utvrditi postoji li značajna razlika u kutu rotacije žilišta kod stabala kojima je uklonjeno tlo sa korijenskog sustava tehnikom komprimiranog zraka u odnosu na početno stanje kada je mjerenje stabilnosti vršeno bez takvog tretiranja. Svakom stablu je određivana stabilnost pri tri uzastopna potezanja poteznim testom. Ukupno su provedena ponovljena mjerenja ($N=60$) otklona žilišta do $0,2^\circ$ kod 10 stabala, na temelju kojih je izračunat momenta savijanja žilišta pri otklonu od $0,2^\circ$.

Tablica 5. Deskriptivna statistika momenta savijanja žilišta pri otklonu od $0,2^\circ$ (kNm)

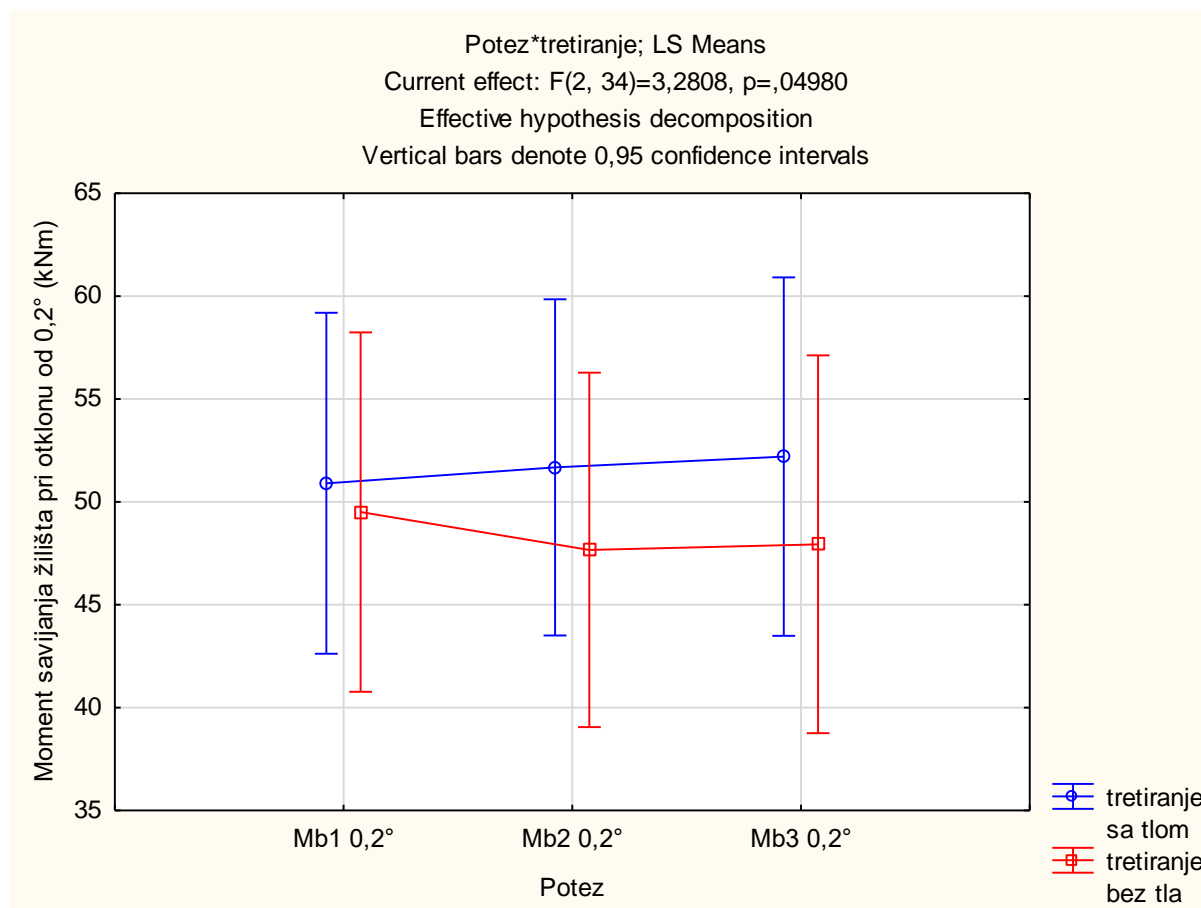
| | Mb ($0,2^\circ$) – sa tlom 1 potez | Mb ($0,2^\circ$) – sa tlom 2 potez | Mb ($0,2^\circ$) – sa tlom 3 potez | Mb ($0,2^\circ$) – bez tla 1 potez | Mb ($0,2^\circ$) – bez tla 2 potez | Mb ($0,2^\circ$) – bez tla 3 potez |
|---------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| N | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Srednja vrijednost | 50,9 | 51,7 | 52,2 | 50,6 | 49,0 | 49,2 |
| Min | 32,4 | 33,8 | 31,9 | 31,9 | 29,2 | 30,4 |
| Max | 68,3 | 64,8 | 67,1 | 64,6 | 65,3 | 68,2 |
| Standardna devijacija | 12,3 | 12,0 | 13,0 | 12,3 | 12,6 | 13,1 |
| Koeficijent varijabilnosti | 24,2 | 23,1 | 24,8 | 24,3 | 25,8 | 26,6 |

Moment savijanja žilišta pri otklonu od $0,2^\circ$ kod stabala prije uklanjanja tla sa korijenskog sustava je iznosio prosječno od 50,9 kNm u prvom potezu, 51,7 kNm, u drugom potezu te 52,2 kNm u trećem potezu. Iz ovih prosječnih vrijednosti vidljiv je trend povećanja vrijednosti momenta savijanja žilišta sa povećanjem broja potezanja stabla. Nakon što je tim stablima uklonjeno tlo s korijenskog sustava, dolazi do smanjenja prosječne vrijednosti momenta savijanja žilišta pri otklonu od $0,2^\circ$. Za prvi potez ona iznosi 50,6 kNm, za drugi 49,0 kNm, dok na trećem potezu dolazi do blagog povećanja vrijednosti momenta savijanja žilišta na 49,2 kNm. Standardna devijacija mjerenja i koeficijent varijabilnosti za vrijednosti momenta savijanja žilišta pri otklonu od $0,2^\circ$ pokazuju slične vrijednosti između mjerenja, iako je i tu primjetan trend blagog povećanja zabilježenih vrijednosti s obzirom na povećan broj potezanja stabla.

Tablica 6. Analiza varijance ponovljenih mjerenja za moment savijanja žilišta pri otklonu od 0,2° različitih tretiranja (sa tlom i bez tla)

| Izvor varijabilnosti | SS | Degr. of Freedom | MS | F | p |
|----------------------|----------|------------------|----------|----------|----------|
| Intercept | 142006,9 | 1 | 142006,9 | 303,7478 | 0,000000 |
| tretiranje | 147,7 | 1 | 147,7 | 0,3159 | 0,581429 |
| Error | 7947,8 | 17 | 467,5 | | |
| Potez | 2,9 | 2 | 1,4 | 0,3987 | 0,674256 |
| Potez*tretiranje | 23,8 | 2 | 11,9 | 3,2808 | 0,049797 |
| Error | 123,3 | 34 | 3,6 | | |

Analiza varijance ponovljenih mjerenja za moment savijanja žilišta pri otklonu od 0,2° pokazala je postojanje statistički značajnih razlika samo između poteza dok između tretiranja sa tlom i bez tla nije utvrđena statistički značajna razlika. Fischer LSD-testom utvrđene su statistički značajne razlike u moment savijanja žilišta pri otklonu od 0,2° samo u slučaju provog i drugog potezanja stabla bez tla na korijenskom sustavu ($p = 0,0485956181$). Dobivene razlike nam govore kako moment savijanja žilišta pri nedestruktivnom poteznom testu nije statistički značajno smanjen ukoliko obavimo uklanjanje tla sa korijenskog sustava stabala.



Slika 15. Moment savijanja žilišta pri otklonu od 0,2 ° prije i nakon uklanjanja tla

4.2. Utjecaj karakteristika stabla i sastojine na stabilnost stabala

Utvrdivao se utjecaj odnosno povezanost nekih karakteristika stabla i sastojine na vrijednost momenta savijanja žilišta pri nedestruktivnom poteznom testu (kut otklona žilišta od $0,2^\circ$).

Karakteristike stabla koje su proučavane su se odnosile na povezanost fizičkih veličine stabla i zabilježenih vrijednosti momenta savijanja žilišta tijekom poteznog testa. Radi navedenog izračunati su različiti indeksi i drugi pokazatelji koji se odnose na samo stablo prema Szoradovoj i sur. (2013) i Ghani i sur. (2009).

Karakteristike stabla koje su korištene su se odnosile na promjer žilišta (d_{base}) čija je srednja vrijednost iznosila 68,39 cm, promjer debla na 1 m ($d_{1,0m}$) je 37,77 cm, a na visini od 1,3 m ($d_{1,3m}$) je u prosjeku 36,42 cm. Promjer smo mjerili i na 1,3 m u smjeru potezanja ($_$) koji prosječno iznosi 36,9 cm i okomito ($_I$) na smjer povlačenja koji iznosi u prosjeku 35,42 cm. Visina stabala (h_{stabla}) se kreće u rasponu od 19,8 do 29,4 m, a srednja visina postavljanja sidrišta na stablu iznosi 6,07 m, dok se visina baze krošnje ($h_{baze_krošnje}$) nalazi prosječno na 11,48 m. Promjer stabla kvadriran ($d_{1,3m} AVR^2$) inosi $1336,42 \text{ cm}^2$, a kada smo kubicirali promjer stabla ($d_{1,3m} AVR^3$) prosječna vrijednost je iznosila $50511,94 \text{ cm}^3$. Umnožak kvadriranog promjera i visine stabla ($d_{1,3m} AVR^2 \times h$) u prosjeku je $32872,74 \text{ cm}^2\text{m}$. Jedna od bitnijih karakteristika je kvocijent vitkosti ($h/d_{1,3m}$) koji u istraživanoj sastojini iznosi 67,97.

Karakteristike sastojine za koje smo smatrali da mogu imati utjecaj na mehaničku stabilnost stabla su gustoća sastojine (broj stabala po ha) i temeljnica. Oni su određivani individualno za svako stabla na način da su u krugu od 500 m^2 ($r=7,98 \text{ m}$) od stabla izmjerena sva stabla sa prsnim promjerom većim od 5 cm.

Deskriptivna statistika parametara koji su korišteni pri analizi nalazi se nastavno u tablici.

Tablica 7. Deskriptivna statistika karakteristika stabla i sastojine na stabilnost stabala

| | N | Srednja vrijednost | Min | Max | Standardna devijacija | Koeficijent varijab. |
|---|----|-----------------------|--------|---------|--------------------------|-------------------------|
| Karakteristike stabla | | | | | | |
| dbase_ [cm] | 28 | 68,39 | 55 | 91 | 10,36 | 15,15 |
| dbase_I [cm] | 28 | 68,32 | 51 | 100 | 11,48 | 16,80 |
| dbaseAVR [cm] | 28 | 68,57 | 55 | 92 | 9,84 | 14,35 |
| d1,0m_ [cm] | 31 | 37,77 | 29 | 52 | 5,85 | 15,49 |
| d1,0m_I [cm] | 31 | 36,42 | 28 | 49 | 5,71 | 15,67 |
| W_moment otpora (poprečnog) presjeka na 1 m visine [cm ³] | 31 | 5437,96 | 2476,9 | 12742,3 | 2578,97 | 47,43 |
| d1,0mAVR [cm] | 31 | 37,35 | 30 | 50 | 5,62 | 15,04 |
| d1,3m_ [cm] | 31 | 36,9 | 27 | 51 | 5,86 | 15,88 |
| d1,3m_I [cm] | 31 | 35,42 | 27 | 48 | 5,46 | 15,43 |
| d1,3mAVR [cm] | 31 | 36,42 | 28 | 50 | 5,5 | 15,10 |
| d1,3mAVR^2 [cm ²] | 31 | 1336,42 | 784 | 2450 | 413,64 | 30,95 |
| d1,3mAVR^3 [cm ³] | 31 | 50511,94 | 21952 | 121287 | 24019,95 | 47,55 |
| h/d1,3m | 31 | 67,97 | 50 | 84 | 8,18 | 12,03 |
| d1,3mAVR^2xh [cm ² m] | 31 | 32872,74 | 15523 | 67137 | 12027,86 | 36,59 |
| h_stabla [m] | 31 | 24,26 | 19,8 | 29,4 | 2,19 | 9,05 |
| h_sidrišta [m] | 31 | 6,07 | 3,9 | 6,8 | 0,63 | 10,46 |
| h_baze_krošnje [m] | 31 | 11,48 | 4,7 | 18,8 | 3,19 | 27,74 |
| Krošnja_dužina [m] | 31 | 12,77 | 6 | 19 | 3,4 | 26,64 |
| h_dubina_korijena_bez tla [cm] | 10 | 29,4 | 17 | 33 | 4,62 | 15,73 |
| r_radijus korijena_bez tla [cm] | 10 | 404 | 350 | 500 | 37,18 | 9,20 |
| volumen korijena_bez tla [m ³] | 10 | 1,09 | 0,36 | 1,3 | 0,28 | 25,29 |
| Karakteristike sastojine | | | | | | |
| Gustoća (N/ha) | 31 | 253,55 | 160,00 | 380,0 | 54,26 | 21,40 |
| Temeljnica (m ² /ha) | 31 | 14,54 | 8,42 | 25,2 | 4,1 | 28,19 |
| Parametri poteznog testa | | | | | | |
| Mb_0,2°_(1._potez) -_tlo [kNm] | 20 | 47,68 | 26,2 | 82,2 | 13,81 | 28,97 |
| Mb_0,2°_(2._potez) -_tlo [kNm] | 20 | 48,91 | 29,3 | 79,8 | 12,66 | 25,88 |
| Mb_0,2°_(3._potez) -_tlo [kNm] | 20 | 48,72 | 26,7 | 78,8 | 13,64 | 27,99 |
| Mb_0,2°_(1._potez) - _bez_tla [kNm] | 10 | 50,61 | 31,9 | 64,6 | 12,31 | 24,33 |
| Mb_0,2°_(2._potez) - _bez_tla [kNm] | 10 | 48,99 | 29,2 | 65,3 | 12,62 | 25,76 |
| Mb_0,2°_(3._potez) - _bez_tla [kNm] | 9 | 47,93 | 30,4 | 68,2 | 13,17 | 27,47 |

Parametri nedestruktivnog poteznog testa koji su korišteni su se odnosili na dva uvjeta u kojima su stabla testirana. Kod prve skupine testirano je 20 stabala sa prije uklanjanja tla, dok je kod druge skupine stabala na 10 njih uklonjeno tlo te je poteznim testom nakon toga određena njihova stabilnost. Svako stablo je potezano tri puta (potez 1.-3.).

Utjecaja karakteristika stabla i sastojine na vrijednost momenta savijanja žilišta je napravljena korelacijskom analizom. Cilj ovog pristupa je bio da se utvrdi koji čimbenici utječu na povećanje ili smanjenje momenta savijanja žilišta te u kakvoj su međusovnoj vezi ranije navedene varijable stabla i sastojine sa stabilnosti stabla.

Tablica 8. Korelacija momenta savijanja žilišta pri otklonu od 0,2° (kNm) i određenih karakteristika stabla i sastojine (značajne korelacije su označene crvenom bojom)

| | Potezni test s tlom (N=20) | | | Potezni test bez tla (N=10) | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Mb_0,2° _(1._potez)- _tlo | Mb_0,2°_ (2._potez)- _tlo | Mb_0,2°_ (3._potez)- _tlo | Mb_0,2°_ (1._potez)- _bez_tla | Mb_0,2°_ (2._potez)- _bez_tla | Mb_0,2°_ (3._potez)- _bez_tla |
| Karakteristike stabla | | | | | | |
| dbase_ [cm] | 0,305322 | 0,22662 | 0,207145 | 0,305322 | 0,229162 | 0,126052 |
| dbase_I [cm] | 0,458115 | 0,387891 | 0,41058 | 0,458115 | 0,422485 | 0,434071 |
| dbaseAVR [cm] | 0,429135 | 0,34136 | 0,336698 | 0,429135 | 0,395363 | 0,34398 |
| d1,0m_ [cm] | 0,478272 | 0,48735 | 0,445781 | 0,478272 | 0,433586 | 0,456121 |
| d1,0m_I [cm] | 0,51688 | 0,516425 | 0,510248 | 0,51688 | 0,651636 | 0,655995 |
| W_moment otpora (poprečnog) presjeka na 1 m visine [cm³] | 0,531766 | 0,531343 | 0,497671 | 0,531766 | 0,534596 | 0,559026 |
| d1,0mAVR [cm] | 0,544882 | 0,548832 | 0,519742 | 0,544882 | 0,567061 | 0,587062 |
| d1,3m_ [cm] | 0,428899 | 0,426473 | 0,352565 | 0,428899 | 0,428596 | 0,465966 |
| d1,3m_I [cm] | 0,406527 | 0,417659 | 0,391693 | 0,406527 | 0,599268 | 0,612565 |
| d1,3mAVR [cm] | 0,429816 | 0,429845 | 0,38224 | 0,429816 | 0,489184 | 0,520854 |
| d1,3mAVR^2 [cm²] | 0,44619 | 0,447812 | 0,393528 | 0,44619 | 0,531004 | 0,559743 |
| d1,3mAVR^3 [cm³] | 0,44399 | 0,441969 | 0,38561 | 0,44399 | 0,536702 | 0,56757 |
| h/d1,3m | 0,056388 | 0,033619 | 0,114366 | 0,056388 | -0,094391 | -0,114217 |
| d1,3mAVR^2xh [cm²m] | 0,547759 | 0,540687 | 0,519509 | 0,547759 | 0,64749 | 0,67581 |
| h_stabla [m] | 0,573918 | 0,55711 | 0,601942 | 0,863387 | 0,870035 | 0,880791 |
| h_sidrišta [m] | 0,008436 | -0,096497 | -0,03181 | -0,301324 | -0,364142 | -0,38941 |
| h_baze_krošnje [m] | 0,213698 | 0,152401 | 0,11083 | -0,425874 | -0,449638 | -0,395649 |
| Krošnja_dužina [m] | 0,098593 | 0,14963 | 0,214087 | 0,601341 | 0,621978 | 0,568128 |
| h_dubina_korijena_bez tla [cm] | - | - | - | -0,276399 | -0,257625 | -0,324943 |
| r_radijus korijena_bez tla [cm] | - | - | - | 0,178656 | 0,246131 | 0,216724 |
| volumen korijena_bez tla [m³] | - | - | - | -0,273811 | -0,2356 | -0,311088 |
| Karakteristike sastojine | | | | | | |
| Gustoća (N/ha) | 0,332913 | 0,33057 | 0,382153 | 0,155348 | 0,185972 | 0,09648 |
| Temeljnica (m²/ha) | 0,066734 | 0,157204 | 0,141311 | 0,046959 | 0,060624 | 0,09992 |

Kod poteznog testa prije uklanjanja tla utvrđena je statistički značajna pozitivna srednje jaka povezanost (korelacija) momenta savijanja žilišta pri otklonu od 0,2° sa visinom stabla (h-stabla) i promjerom debla na 1,0 m (d1,0m).

Kod poteznog testa nakon uklanjanja tla uočena je statistički značajna pozitivno jaka korelacija momenta savijanja žilišta pri otklonu od $0,2^\circ$ sa visinom stabla, treba se navesti i negativna relativno slaba korelacija sa visinom baze krošnje ($h_baze_krošnje$) koja nije statistički značajna.

5. RASPRAVA

Cilj ovog istraživanja je bio povezan s utvrđivanjem utjecaja uklanjanja tla sa korijenskog sustava na stabilnost stabala.

Ghani i sur. (2009) u svom istraživanjem su dokazali da kut rotacije žilišta i maksimalni moment savijanja stabla nisu uvelike utjecani kopanjem kanala oko stabla (na primjeru 20 godina starih stabala tropske vrste *Eugenia grandis*) pa čak i rezanjem korijena na udaljenosti od 0,5m od debla. Objašnjenje ove pojave je u činjenici da maksimalna dubina korijenja je dobar pokazatelj jačine korijenskog sustava, radi toga što se većina ponirućeg korijenja nalazi u blizini debla i kako se presijecanjem horizontalnog korijenja, koje uzima većinu udjela biomase, neće značajnije smanjiti stabilnost stabla. Istraživanje koje su proveli Mickovski i Ennos (2003.) pokazuje da postoje razlike u maksimalnom momentu savijanja stabla i kutu rotacije žilišta u istraživanoj grupi stabala, a najveće razlike su bile u odnosu visine stabla i dubine korijenskog sustava. Kako se većina korijena koji raste vertikalno u dubinu nalazi u blizini, odnosno ispod žilišta stabla, ono nije moglo biti oštećeno kopanjem kanala, i stoga dalje može vršiti svoju glavnu funkciju sidrišta.

U skladu sa takvim zaključcima kod nas je potvrđeno da uklanjanje tla nema značajan utjecaj na smanjenje stabilnosti mjerenu nedestruktivnim poteznim testom, odnosno kako ne kako ne postoje statistički značajne razlike u kutu rotacije žilišta prije i nakon uklanjanja tla. Ovo saznanje ima posljedice na praktične zahvate koji se izvode oko stabala ili nastanu kao posljedica utjecaja vanjskih djelovanja (npr. erozija tla). Zamjena tla je zahvat koji se često preporuča u urbanim uvjetima, za stabla koja rastu u poremećenim stanišnim uvjetima, ukoliko je postojeće tlo neodgovarajućih karakteristika (fizičkih, kemijskih, bioloških). Spoznaja da uklanjanjem postojećeg tla tehnikom komprimiranog zraka ne narušimo stabilnost tretiranog stabla je važan čimbenik prilikom razmatranja potrebe i opravdanosti ovakvih zahvata čime se omogućava veća mogućnost izvođenja i unaprjeđenja stanja stabala u urbanom okolišu.

U našem istraživanju može se uočiti razlika u momentu savijanja žilišta pri otklonu od $0,2^\circ$ između prvog i drugog potezanja nakon uklanjanja tla, pretpostavljamo da je do toga došlo jer smo tretiranjem površine komprimiranim zrakom narušili strukturu tla u zoni korijena ispitivanih stabala te je nakon tih potezanja došlo do sabijanja čestica tla što je imalo za posljedicu da se vrijednost momenta savijanja žilišta nakon toga nije značajnije mijenjala.

Karakteristike stabla su važan čimbenik prilikom razmatranja njihove stabilnosti na izvalu ili lom. Moore (2000) navodi da stabla koja imaju niži koeficijent vitkosti (omjer visine i prsnog

promjera tj. h/d) imaju veći maksimalni moment savijanja u odnosu na stabla koja imaju viši koeficijent vitkosti. Za razliku od toga kod nas nije potvrđena povezanost koeficijenta vitkosti i momenta savijanja žilišta pri otklonu do $0,2^\circ$. Prema Mooreu (2000) promjer i dubina korijenskog sustava značajno su povezani sa maksimalnim momentom savijanja žilišta. Za stabla koja su se izvalila nakon poteznog testa, volumen debla, koeficijent vitkosti i širina korijenskog sustava objašnjavaju 91% varijabilnosti maksimalnog momenta savijanja žilišta. Prema Fraseru i Gardineru (1967) utvrđeno je da na nagib žilišta utjecaj imaju tip tla te dubina ukorjenjivanja. U našem istraživanju nije utvrđena statistički značajna povezanost, ali je prisutna slaba negativna korelacija između dubine korijenskog sustava bez tla te uklonjenog volumena korijena bez tla i momenta savijanja žilišta pri otklonu od $0,2$ stupnjeva. Navedene vrijednosti ukazuju na zaključak da stabla, koja imaju plići i manji korijenski sustav, imaju manju stabilnost. Visina stabla je imala značajnu srednje jaku i jaku pozitivnu korelaciju sa momentom savijanja žilišta što je očekivano s obzirom da sa porastom visina stabla dolazi do većeg kraka djelovanja sile odnosno momenta savijanja na žilištu. Promjer stabla pokazuje srednje jaku pozitivnu korelaciju sa stabilnosti stabla mjerenu nedestruktivnim poteznim testom. To je bilo vidljivo u uvjetima prije i nakon uklanjanja tla sa korijenskog sustava. Stabla većeg promjera debla imati će veću stabilnost odnosno bit će potreban veći moment da bi došlo do rotacije žilišta, odnosno stabilnost korijenskog sustava raste sa povećanjem promjera stabla. Sastojinski prostor također utječe na stabilnost stabala. Stabla koja u okruženju od 5 metara imaju stablo iste vrste su značajno manje sklonija vjetroizvali od onih stabala koji se nalaze na osami (Petersen i Claassen, 2012). U svom istraživanju Moore (2000) je primjenjivanjem momenta savijanja žilišta usporedio stabla različitih vrsta, te zaključio da stabla koja rastu u gustom sastojini i velikog koeficijenta vitkosti su najmanje stabilna. S druge strane stabla, koja rastu na osami i imaju razvijeno deblo, su najstabilnija.

U našem istraživanju nije utvrđena povezanost gustoće sastojine i temeljnice i stabilnosti stabala mjerenu nedestruktivnim poteznim testom. Također nije utvrđena ni povezanost armiranosti korijenskog sustava susjednih stabala i stabilnosti iskazane kroz moment savijanja žilišta. Ovo je istraživanje rađeno u nedestruktivnom području istraživanja do $0,2^\circ$ otklona žilišta. Moguće je da bi rezultati bili drugačiji da smo testirali poteznim testom do ukupne stabilnosti stabla (eng. *maximum resistive bending moment*)

6. ZAKLJUČAK

Cilj istraživanja ovoga rada je bio utvrditi utjecaj uklanjanja tla, kao i utjecaj karakteristika stabla i sastojine na stabilnost stabala hrasta kitnjaka mjerenu nedestruktivnim poteznim testom,

- ✓ Na primjeru 10 istraživanih stabala hrasta kitnjaka kojima je ukonjeno tlo s korijenskog sustava nije utvrđeno postojenje statistički značajne razlike između momenta savijanja žilišta pri nedestruktivnom poteznom testu prije i nakon tretiranja. Utvrđene su razlike jedino između prvog i drugog potezanja kod stabala kojima je uklonjeno tlo s korijenskog sustava.
- ✓ Utvrđena je statistički značajna pozitivna srednje jaka korelacija promjera stabla i momenta savijanja žilišta pri nedestruktivnom testu prije uklanjanja tla te statistički značajna jaka korelacija visine stabla i momenta savijanja žilišta prije i nakon uklanjanja tla. Sa povećanjem dimenzija stabala dolazi do povećanja njihove stabilnosti, odnosno potrebno je djelovati sa većim momentom na stablo da bi došlo do rotacije njegovog žilišta.

LITERATURA

1. Anić, I., M. Oršanić, 2010: Morfološka i šumskouzgojna obilježja park-šuma grada Zagreba. U: Matić, S., I., Anić (ur.), Park-šume grada Zagreba, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 135–158.
2. Bornstein, R. D., D. S. Johnson, 1976: Urban-rural wind differences. *Atmospheric Environment* Vol. 11: 597-604.
3. Budisavljević, A., 2017: Budisavljević, A., Terlević, A., Mihelić, P., Špadina, B, Papković, D., Nikolić, T., Šegota, V. (2017): Vaskularna flora šume Dotrščina (Zagreb, Hrvatska). *Glas. Hrvat. bot. društ.* 5(1): 4-19.
4. Cannon, J. B., M. E. Barrett, C. J. Peterson, 2015: The effect of species, size, failure mode, and fire-scarring of tree stability. *Forest Ecology and Management*. Vol. 356: 196-203 str.
5. Collins, S., 2001: Ecological Forecasts: An Emerging Imperative Science 27 Jul 2001: Vol. 293, Issue 5530, pp. 657-660
6. Coutts M. P., 1983: Root architecture and tree stability. *Plant Soil*, Vol. 71: 171–188.
7. Ćirić, M., 1984: *Pedologija*. Svjetlost, Sarajevo, 311p.
8. Detter, A., 2018: E. Brudi, F. Bischoff: Statics Integrated Methods: Results from pulling test since the past decades. 2018.

URL: http://www.treeconsult.org/upload/mediapool/pdf/baumstatik_und_biomechanik/results-from-pulling-tests-in-the-past-decades.pdf (pristupljeno 20.02.2018.)
9. Drexhage, M., 2011: Development of structural root architecture and allometry of *Quercus petraea*. *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 29(5): 600-608.
10. Dujesiefken, D. 2005: Liese, W., Shortle, W., Minocha R.: *European Journal of Forest Research* June 2005, Volume 124, Issue 2, pp 113–117| Response of beech and oaks to wounds made at different times of the year
11. Fraser, A. I., 1967: Rooting and Stability of Sitka Spruce. *Forestry Commission Bulletin*. No. 40. Her Majesty's Stationery Office, London. 56 str.
12. Gardiner, B., 2016: Review: P. Berry, B. Moulia,: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant Science*. Vol. 245: 94-118.

13. Ghani, M. A., A. Stokes, T. Fourcaud, 2009: The effect of root architecture and root loss through trenching on the anchorage of tropical urban trees (*Eugenia grandis* Wight). *Trees*. Vol. 23: 197-209.
14. Greenway, D. R., 1987: Vegetation and slope stability, in *Slope Stability*, M. G. Anderson, and K. S. Richards, pp. 187–230,
15. Harris, P.J.C., 2004: *Plant Science* Vol 166, , Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants, str. 3-16
16. Horáček, P., 2005: Introduction to tree statics and static assessment. U: Fay, N., Horáček, P., Kolařík, J. (ur.). *Wind Load Simulation and Tree Statics*. Bristol, Treework Environmental Practice, 2005, 5–15.
17. Idžojtić, M., 2013: *Dendrologija – cvijet, češer, plod, sjeme*. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 478 str.
18. Kamimura, K., 2011: K. Kitagawa, S. Saito, H. Mizunaga, Root anchorage of hinoki (*Chamaecyparis obtuse* (Sieb. Et Zucc.) Endl.) under the combined loading of wind and rapidly supplied water on soil: analyses based on tree-pulling experiments. *European Journal of Forest Research*. Vol. 131(1): 219-227.
19. Konijnendijk van den Bosch, C., 2017: Citizens' perception of and satisfaction with urban forests and green space: Results from selected Southeast European cities 2017/4/1 *Urban forestry & urban greening* vol. 23 str. 93-103
20. Lev J., (2017). "The power of streetscape and how to protect it". *Newcastle Herald*. Newcastle NSW Australia. Archived from the original on 2017-09-03. Retrieved 2017-09-03.
21. Matheny, N.P. (1997), Clark, J.R.: *Journal of Arboriculture* 23(1): January 1997 17: A model of urban forest sustainability James R. Clark, Nelda P. Matheny, Genni Cross and Victoria Wake
22. Matić, S., 2010: Uvod. U: Matić, S., I., Anić (ur.), *Park-šume grada Zagreba*, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 9 – 18.
23. McPherson, E.,G., (1997):*Urban Ecosystems* March 1997, Volume 1, Issue 1, pp 49–61
Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project

24. Mickovski, S. B., Ennos A.R., 2003: Anchorage and asymmetry in the root system of *Pinus peuce*. *Silva Fenn* 37:161–173.
25. Moore, J., 2000: Differences in maximum resistive bending moments of *Pinus radiata* trees grown on a range of soil types. *Forest Ecology and Management*, 53 (1-3): 63-71.
26. Nicoll, B.C., D. Ray 1996: Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions, *Tree Physiology*, Vol 16, November 1996, str. 891–898.
27. Nowak, D.J., Dwyer, J. F., Heather, M., Sisinni, S. M., 2000: Connecting people with ecosystems in the 21st century: an assessment of our nation's urban forests. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-490. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 483 str.
28. Oršanić, M., D. Drvodelić, 2005: Arborikultura, interna skripta. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 86 str.
29. Paulić, V., 2015: Prosudba opasnih stabala korištenjem vizualnih metoda i arborikulturnih instrumenata. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 296 str.
30. Pernar, N., 2017: Tlo – nastanak, značajke, gospodarenje. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 799 str.
31. Peterson, C. J., V. Claassen, 2012: An evaluation of the stability of *Quercus lobata* and *Populus fremontii* on river levees assessed using static winching tests. *Forestry*. Vol. 86: 201 – 209.
32. Petty, J.A., Worrell, R., *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Vol 54, 1981, str. 115–128, <https://doi.org/10.1093/forestry/54.2.115>
33. Program za gospodarenje šumama posebne namjene nastavno pokusni šumski objekt Zagreb gospodarska jedinica „Dotrščina“ Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu . Šume“ obrt za savjetovanje u šumarstvu, usluge i trgovinu Zagreb, 156 str.
34. Quine, C. P., 2007: B. A. Gardiner, Understanding how the interaction of wind and trees results in windthrow, stem breakage and canopy gap formation. U: *Plant disturbance ecology: the process and the response*. Ur: Johnson E. i K. Miyanishi. Academic Press. 103-155.
35. Rigling, 2005: Wie wirken sich Fäulebefall an Stamm und Wurzeln auf die Sturmempfindlichkeit aus und welche Erreger sind beteiligt? *Zbornik radova Lothar Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung*, 60 – 65.

36. Sieghardt, M., E. Mursch-Radlgruber, E. Paoletti, E. Couenberg, A. Dimitrakopoulos, F. Rego, A. Hatzistathis, T. B. Randrup, 2005: The Abiotic Urban Environment: Impact of Urban Growing Conditions on Urban Vegetation. U: U: Konijnendijk C. C., K. Nilsson, T. B. Randrup, J. Schipperijn(ur.), Urban Forests and trees: A reference book, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, str. 419–441.
37. Szoradova, A., L. Praus, J. Kolarik, 2013: Evaluation of the root system resistance against failure of urban trees using principal component analysis. Biosystems Engineering. Vol. 115: 244-249.
38. Taylor, D. W., 1948: Fundamentals of Soil Mechanics. JOHN WILEY & SONS Inc., New York, 715 str.
39. Thorne C.R., 1990: Effects of vegetation on riverbank erosion and stability. In Vegetation and Erosion, Thornes JB (ed.). Wiley: Chichester: 125-143. Str.
40. Tumpa, K., 2018: Utjecaj povećanja vlažnosti tla na stabilnost urbanih stabala hrasta kitnjaka u park-šumama grada Zagreba Katarina Tumpa (2018) Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma, 10 str.
41. Volarić, B., 1999: Klasična teorija fena i njegova zemljopisna raspodjela. Hrvatski meteorološki časopis. Vol. 33/34: 53-62.
42. Wessolly, L., M. Erb, 2014: Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Patzer Verlag, Berlin, 288 str.
43. Anon., 2014: Program gospodarenja za G.J. "NPŠO Dotrščina" 2014 – 2023. Šumarski fakultet., Zagreb, 106 str.
44. ***Anon.1, 2019: <http://www.holo.hr/Formule/Pregled/tabid/62/fid/Mat20-01/Default.aspx>, pristupljeno xx.xx.2019
45. *** preuzeto sa Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, 2019